

GUILHERME DE CASTRO ANDRADE

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE COMPOSTO
ORGÂNICO DE LIXO URBANO E DE
FERTILIZANTE MINERAL EM POVOAMENTOS
DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal, Universidade Federal
do Paraná, como requisito parcial à obtenção
do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

CURITIBA

2002



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico – CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

PARECER

Defesa nº 466

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o doutorando *GUILHERME DE CASTRO ANDRADE* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "EFEITOS DA APLICAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO DE LIXO URBANO E DE FERTILIZANTE MINERAL EM POVOAMENTOS DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Conservação da Natureza*.

Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora

Dr. Walter de Paula Lima

Professor e pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ-USP
Primeiro examinador

Dr. Helton Damin da Silva

Pesquisador da EMBRAPA/CNP-Floresta
Segundo examinador

Dr. Franklin Galvão

Professor e pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da UFPR
Terceiro examinador

Dr. Antonio Francisco Jurado Bellote
Pesquisador da EMBRAPA/CNP-Floresta
Quarto examinador

Curitiba, 25 de março de 2002.

Nivaldo Eduardo Rizzi

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Franklin Galvão

Vice-coordenador

A Deus

OFEREÇO

*À minha esposa Vânia,
aos meus filhos Lucas e Gabriel,
aos meus pais, irmãos e familiares
presenças constantes em minha vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi, pela sua amizade, orientação, dedicação e confiança depositada.

A *Embrapa Florestas* pela oportunidade e apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa.

A Universidade Federal do Paraná especialmente ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Florestal como espaço público de desenvolvimento de ciência e tecnologia.

A Companhia Suzano de Papel e Celulose pela participação na pesquisa em parceria com a *Embrapa Florestas*, com a concessão da área experimental e apoio técnico e financeiro para execução deste trabalho.

Aos Drs. Antonio Francisco Jurado Bellote e Carlos Alberto Ferreira pela amizade, co-orientação e companheirismo na execução das pesquisas.

Aos Drs. Helton Damin da Silva, Itamar Antonio Bognola e Renato Dedecek pela amizade, contribuições e tempo despendidos no aprimoramento deste trabalho.

Aos Drs. Edílson Batista de Oliveira e Carlos Alberto Ferreira pelas sugestões e auxílio nas análises estatísticas.

Aos Engenheiros Florestais José Luiz Gava e Silas Zen pela amizade, dedicação e valiosa contribuição para realização deste trabalho.

Ao Técnico Florestal Jacir Faber pela amizade, profissionalismo, iniciativa e dedicação no auxílio prestado durante a fase de campo e laboratório.

Aos Srs. Luiz Carlos Coelho Neto, Onécimo Nunes da Veiga, Adão de Vargas e Paula Schultz Bittencourt Pucci pelo auxílio nas análises de laboratório.

Aos funcionários da Biblioteca do *Embrapa Florestas* pelo auxílio em todo o período de pós-graduação e em especial a Bibliotecária Carmen Cassilha Stival pela valiosa revisão das referências bibliográficas.

Aos funcionários do Setor de Informática da *Embrapa Florestas* pelo auxílio durante o período de pós-graduação.

Aos colegas da *Embrapa Florestas* pelo incentivo, pela amizade e convívio durante todos esses anos.

A equipe de apoio às pesquisas da Companhia Suzano de Papel e Celulose formada pelos Srs. Adilson, Gilson, Carlitos e Nilson que cooperaram nas coletas de campo.

Aos colegas de pós-graduação, funcionários e amigos do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pelo convívio e amizade, em especial à Ruth Quadros.

A Clarice Foggiatto de Andrade, pela contribuição na formatação do trabalho de tese.

Aos meus amigos e parentes que sempre me apoiaram e sem os quais a minha vida não teria o mesmo sentido.

BIOGRAFIA

GUILHERME DE CASTRO ANDRADE, nasceu em Niterói, Estado do Rio de Janeiro, no dia 11 de dezembro de 1959.

Em 1978, ingressou no Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, graduou-se em 1982. Iniciou suas atividades profissionais na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, na cidade de Caicó-RN, período de 1983 a 1989.

Realizou o curso de mestrado na ESALQ-USP, no Departamento de Ciências Florestais, no período de 1988 a 1991.

Em 1989, foi aprovado no concurso público para Pesquisador da *Embrapa Florestas*, em Colombo, PR.

Em 1998 iniciou o Curso de Doutorado em Ciências Florestais, Área de Concentração Conservação da Natureza.

SUMÁRIO

	Pág.
AGRADECIMENTOS	iii
BIOGRAFIA	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Lixo urbano	4
2.1.1 Composição do lixo urbano	5
2.2 Utilização de resíduos orgânicos	6
2.2.1 Lixo urbano como adubo orgânico	11
2.2.2 Resíduos orgânicos e ciclagem de nutrientes	17
2.2.3 Manejo florestal e sustentabilidade de plantios de <i>Eucalyptus grandis</i>	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 Descrição geral da área do ensaio	24
3.2 Detalhamento experimental utilizado	27
3.3 Avaliação da decomposição da serapilheira	29
3.4 Avaliação da contribuição da água de chuva na entrada de nutrientes	30
3.5 Avaliação do solo aos 86 meses do plantio	34
3.6 Avaliação do estoque de biomassa e de nutrientes da serapilheira	35

3.7 Avaliação dendrométrica e amostragem de madeira para estimativa da biomassa e dos nutrientes da árvore	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Efeitos da aplicação de lixo urbano orgânico compostado sobre o volume de madeira de <i>E. grandis</i> aos 86 meses de idade	41
4.2 Estimativa do estoque de nutrientes nas árvores aos 86 meses de idade	46
4.2.1 Estimativa de biomassa da parte aérea da árvore nos diferentes compartimentos.....	46
4.2.2 Teores de nutrientes no tronco de <i>E. grandis</i> aos 86 meses de idade.....	48
4.2.3 Conteúdos de nutrientes na biomassa aérea de <i>E. grandis</i> aos 86 meses de idade	50
4.3 Efeitos do lixo urbano compostado na decomposição da serapilheira em <i>E. grandis</i>	54
4.4 Avaliação da serapilheira em <i>E. grandis</i> aos 86 meses de idade.....	57
4.4.1 Biomassa de serapilheira acumulada na superfície do solo florestal	57
4.4.2 Teores de nutrientes na serapilheira aos 86 meses de idade	58
4.4.3 Conteúdo de nutrientes na serapilheira aos 86 meses de idade	62
4.5 Efeitos da adubação mineral e da aplicação de lixo orgânico sobre o solo	65
4.5.1 Análise química do solo.....	65
4.5.2 Análise física do solo	71
4.6 Fluxo de nutrientes através da água de chuva em <i>E. grandis</i>	77
4.6.1 Avaliação quantitativa da água de chuva em plantios de <i>E. grandis</i>	77
4.6.2 Avaliação qualitativa da água de chuva em plantios de <i>E. grandis</i>	79
4.7 Balanço de nutrientes aos 86 meses de idade	83
5 CONCLUSÕES.....	88
REFERÊNCIAS.....	89
ANEXOS	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ITATINGA-SP, BRASIL	24
FIGURA 2. BALANÇO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE ITATINGA-SP	25
FIGURA 3. VISTA PARCIAL DA ÁREA EXPERIMENTAL 66 MESES APÓS O PLANTIO	28
FIGURA 4. PLUVIÔMETRO INSTALADO A CÉU ABERTO (SEM VEGETAÇÃO)	31
FIGURA 5. COLETOR DA ÁGUA DE PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI) COM DETALHES DA TELA DE PROTEÇÃO	31
FIGURA 6. RECIPIENTE PARA COLETA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) PARA ANÁLISE QUÍMICA	32
FIGURA 7. RECIPIENTE PARA COLETA E QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET)	32
FIGURA 8. VOLUME CILÍNDRICO MÉDIO DE MADEIRA EM m ³ /ha, POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES)	42
FIGURA 9. DECOMPOSIÇÃO, EXPRESSA EM PERDA DE BIOMASSA, DE FOLHAS DE <i>E. grandis</i> , EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DIFERENTES TEMPOS DE PERMANÊNCIA NO SOLO	54
FIGURA 10. DECOMPOSIÇÃO, EXPRESSA EM PERDA DE BIOMASSA, DE GALHOS DE <i>E. grandis</i> , EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DIFERENTES TEMPOS DE PERMANÊNCIA NO SOLO	55
FIGURA 11. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 10 cm.	73
FIGURA 12. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 10 A 20 cm.	74
FIGURA 13. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 20 A 30 cm.	74
FIGURA 14. NUTRIENTES NA ÁGUA DE PRECIPITAÇÃO EFETIVA POR TRATAMENTO E NA ÁGUA DE PRECIPITAÇÃO TOTAL EM kg/ha.ano. MÉDIA DOS DOIS PERÍODOS AVALIADOS	82

FIGURA 15. QUANTIDADE DE N, P, K, Ca e Mg EXPORTADA NA COLHEITA DA MADEIRA E REMANESCENTE NO SÍTIO (ESTOQUE) PARA CADA TRATAMENTO AOS 86 MESES	85
FIGURA 16. QUANTIDADE DE N, P, K, Ca e Mg EXPORTADA E REMANESCENTE NO SÍTIO (ESTOQUE) PARA O TRATAMENTO QUE RECEBEU LIXO URBANO COMPOSTADO E O FLUXO DE NUTRIENTES PELA PRECIPITAÇÃO EFETIVA PARA OS 86 MESES DO CICLO FLORESTAL	87

LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 1. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO NA ÁREA DO EXPERIMENTO.....	27
TABELA 2. CARACTERÍSTICAS DO LIXO ORGÂNICO URBANO PARCIALMENTE COMPOSTADO (ADAPTADO DE ZEN <i>et al.</i> , 1994).....	28
TABELA 3. EQUAÇÕES OBTIDAS, COM OS RESPECTIVOS COEFICIENTES, PARA DETERMINAÇÃO INDIRETA DE PESO SECO TOTAL (g) DE DIFERENTES COMPARTIMENTOS DE <i>E. grandis</i>	39
TABELA 4. EQUAÇÕES UTILIZADAS NA DETERMINAÇÃO INDIRETA DO CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES MINERAIS (g), PRESENTES NOS COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE DE <i>E. grandis</i>	40
TABELA 5. VOLUME CILÍNDRICO DE MADEIRA EM m ³ /ha, POR TRATAMENTO E POR BLOCO, NA IDADE DO CORTE (86 MESES).....	41
TABELA 6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS DADOS DE VOLUME DE MADEIRA EM m ³ /ha E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.....	42
TABELA 7. BIOMASSA AÉREA POR COMPARTIMENTO ARBÓREO (ton/ha), POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE (86 MESES), MÉDIA DE SETE REPETIÇÕES	46
TABELA 8. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS DADOS DE BIOMASSA AÉREA TOTAL EM m ³ /ha E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.....	47
TABELA 9. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIMPLES (r) ENTRE VOLUME ARBÓREO (m ³) E TEOR DE NUTRIENTES (g/kg) NOS COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE DE <i>E. grandis</i> , POR CLASSE DE DAP, NA IDADE DO CORTE (86 MESES).....	48
TABELA 10. BIOMASSA (ton/ha) E CONTEÚDO DE NUTRIENTES (kg/ha) NOS COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE POR TRATAMENTO NA IDADE DO CORTE (86 MESES). MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES	50

TABELA 11. CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES (kg/ha) E CORRELAÇÃO COM BIOMASSA TOTAL AÉREA PRODUZIDA (ton/ha), POR TRATAMENTO, MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES, AOS 86 MESES DE IDADE.....	53
TABELA 12. COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO EXPONENCIAL NEGATIVO, COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO E NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA QUE REPRESENTAM A DECOMPOSIÇÃO DE FOLHAS E GALHOS NOS DIVERSOS TRATAMENTOS	55
TABELA 13. BIOMASSA EM ton/ha, DE CASCA, FOLHAS E GALHOS PRESENTES NA SERAPILHEIRA, REMANESCENTE NO SOLO, POR TRATAMENTO, SEPARADA NA COLETA EM DOIS HORIZONTES ORGÂNICOS (Ln = LITER NOVO; Lv = LITER VELHO) NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES).....	57
TABELA 14. BIOMASSA DE CASCA, FOLHAS E GALHOS DA SERAPILHEIRA E O SOMATÓRIO DESTES TRÊS, EM ton/ha, REMANESCENTE NO SOLO, POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DO <i>E. grandis</i> (86 MESES).....	58
TABELA 15. TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES DA SERAPILHEIRA EM g/kg, POR TRATAMENTO, SEPARADA NA COLETA EM DOIS HORIZONTES ORGÂNICOS (Ln = LITER NOVO; Lv = LITER VELHO) NA IDADE DO CORTE DO <i>E. grandis</i> (86 MESES).....	59
TABELA 16. TEORES DE NUTRIENTES NOS COMPONENTES DA SERAPILHEIRA. MÉDIA DE 24 REPETIÇÕES	60
TABELA 17. TEORES DE NUTRIENTES NOS HORIZONTES DA SERAPILHEIRA. MÉDIA DE 36 REPETIÇÕES	61
TABELA 18. TEORES MÉDIOS DE N, P, K, Ca E Mg NA SERAPILHEIRA DOS TRATAMENTOS, POR HORIZONTE ORGÂNICO, AOS 86 MESES DE IDADE DO <i>E. grandis</i>	61
TABELA 19. CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA EM kg/ha, POR TRATAMENTO, SEPARADA NA COLETA EM DOIS HORIZONTES ORGÂNICOS (Ln = LITER NOVO; Lv = LITER VELHO) NA IDADE DO CORTE DO <i>E. grandis</i> (86 MESES).....	63
TABELA 20. CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA EM kg/ha, POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES).....	64
TABELA 21. ANÁLISE DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES POR TRATAMENTO, 86 MESES APÓS O PLANTIO. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES	66
TABELA 22. ANÁLISE DO SOLO, MÉDIA DAS DIFERENTES PROFUNDIDADES ESTUDADAS, POR TRATAMENTO AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.....	66

TABELA 23. VALORES DE pH DO SOLO PARA OS TRATAMENTOS	66
TABELA 24. CONCENTRAÇÃO DE K (cmolc ⁽⁺⁾ /dm ³) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO POR TRATAMENTO	68
TABELA 25. VALORES DE Al (cmolc ⁽⁺⁾ /dm ³) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO PARA OS TRATAMENTOS.....	70
TABELA 26. VALORES DE H + Al (cmolc ⁽⁺⁾ /dm ³) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO PARA OS TRATAMENTOS.....	70
TABELA 27. VALORES DE MATÉRIA ORGÂNICA EM g/dm ³ PARA OS TRATAMENTOS NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO	70
TABELA 28. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, OBTIDAS POR TRATAMENTO, COM OS DADOS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES TENSÕES, NAS PARCELAS DE <i>E. grandis</i> EM TRÊS PROFUNDIDADES	72
TABELA 29. POROSIDADE TOTAL DO SOLO, MACROPORO E MICROPORO (cm ³ /cm ³), EM TRÊS PROFUNDIDADES NO SOLO, POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES).....	75
TABELA 30. VOLUME DE ÁGUA, NA PROFUNDIDADE DE 0 A 10 cm, DE AMOSTRAS DE SOLO INDEFORMADAS COLETADAS AOS 86 MESES DE IDADE NAS PARCELAS DE <i>E. grandis</i> E CORRELAÇÃO COM O DAP MÉDIO DA PARCELA NESTA IDADE. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES.....	76
TABELA 31. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO SIMPLES, OBTIDAS POR TRATAMENTO, COM OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO TOTAL (PT) E PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI) NAS PARCELAS DE <i>E. grandis</i> PARA OS DOIS PERÍODOS AVALIADOS.....	77
TABELA 32. PRECIPITAÇÃO TOTAL (PT), INTERNA (PI), EFETIVA (PE), ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) E PERDA POR INTERCEPTAÇÃO (I), NA ÁREA EXPERIMENTAL DE JUL/94 A JUN/95, JUL/95 A OUT/96 E DE JUL/94 A OUT/96	78
TABELA 33. TOTAL DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) E NA DE PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI) EM kg/ha.ano, NOS DIFERENTES TRATAMENTOS NO PERÍODO DE JULHO/94 A JUNHO/95.....	80
TABELA 34. TOTAL DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) E NA DE PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI) EM kg/ha.ano, NOS DIFERENTES TRATAMENTOS NO PERÍODO DE JULHO/95 A JUNHO/96.....	80
TABELA 35. QUANTIDADE TOTAL DE N, P, K, Ca E Mg NO SÍTIO, CONSIDERANDO OS NUTRIENTES DA BIOMASSA DE SERRAPILHEIRA E DA BIOMASSA DA PARTE AÉREA DA ÁRVORE, E AS QUANTIDADES EXPORTADA PELA COLHEITA DE MADEIRA E REMANESCENTE (ESTOQUE) POR TRATAMENTO AOS 86 MESES	84

RESUMO

Quantidades significativas de resíduos orgânicos são produzidas a cada ano pela população tornando-se indispensável a obtenção de práticas econômicas e seguras para a disposição e utilização destes. As florestas têm sido amplamente estudadas como ecossistemas potencialmente aptos à absorver resíduos orgânicos, utilizados como fertilizantes e também condicionadores do solo. Este trabalho avaliou no município de Itatinga-SP, em solos de textura arenosa e baixa fertilidade, classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, os efeitos da aplicação no plantio de 15 ton/ha de lixo urbano orgânico compostado e da adubação mineral em plantações de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, sobre a produtividade de madeira, no estoque de N, P, K, Ca e Mg na serapilheira e na árvore e sobre as condições químicas e físicas do solo, após 86 meses do plantio. Além disto, foram estudados a decomposição da serapilheira e o fluxo de nutrientes através da água de chuva, no período de 30 a 60 meses do plantio, elaborando-se uma estimativa do balanço de nutrientes no sítio florestal com os dados de biomassa e nutrientes da serapilheira e da parte aérea das árvores aos 86 meses de idade. Verificou-se que a aplicação do composto orgânico de lixo urbano aumentou a produtividade de *E. grandis* com relação à testemunha, com um ganho de 45,6% no volume cilíndrico de madeira e de 36,9% na biomassa do tronco sem casca, reduzindo o tempo de decomposição da serapilheira, em média de 28% para folhas e de 16% para galhos, contribuindo para o aumento da saturação de bases no solo, elevando o pH e aumentando a água disponível do solo de 13% até 25%, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, que podem justificar a maior produção de madeira obtida no final da rotação em comparação com as parcelas que só receberam fertilizantes minerais. O balanço de nutrientes nas parcelas do ensaio, mostrou que as parcelas que receberam composto orgânico de lixo urbano apresentaram aos 86 meses, os maiores conteúdos de N, P, K e Ca no sítio antes do corte das árvores, assim como deixaram no campo, após a exploração da área, os maiores estoques de nutrientes, que poderão contribuir significativamente para a manutenção da produtividade do solo. A chuva contribuiu também, durante os 29 meses de monitoramento, com entradas significativas de nutrientes no sítio, sendo que estimativas para o período de 86 meses (idade do corte das árvores), representariam com relação ao que saiu do sítio na colheita da madeira nas parcelas que receberam lixo urbano orgânico compostado, 36% de N, 28% do P, 73% do K, 65% do Ca e 42% do Mg. O trabalho mostrou que além de manter no campo os restos da colheita como galhos, folhas e ponteira das árvores são também importantes o descascamento da árvore no campo, que representa em média uma economia de 32% do estoque de nutrientes contidos na biomassa da parte aérea, e a manutenção da serapilheira no solo, como práticas para aumentar o estoque de nutrientes para as próximas rotações, principalmente em solos de baixa fertilidade.

ABSTRACT

Large quantities of organic wastes are produced mainly in big cities, annually. There is urgent demand for safe and possibly economic practices for its use. Forest plantations have been studied as a potential ecosystem able to absorb organic residues as fertilizers or soil conditioners. This study evaluated the effects of the application of 15 tons/ha of composted organic waste of the city of São Paulo, and mineral fertilizers in a *Eucalyptus grandis* plantation on a very poor sandy soil, (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, according to the Brazilian soil classification). It was measured wood production, nutrient contents (N, P, K, Ca and Mg) in the components of the litter and of the trees and the physical and chemical changes in the soil properties, 86 months after the establishment of the plantation. It was studied the decomposition of the litter and the nutrient flow through rainfall, throughfall and stemflow, between 30 and 60 months of age of the trees. Nutrient budgets were obtained taking into account tree biomass data and nutrient contents of the litter and above ground parts of the trees at seven years of age. It was observed that the municipal composted organic wastes resulted in a increase of 45.6% in wood volume and 36.5% in biomass of the trunk under bark, as compared to the control. It also increased the velocity of the litter decomposition on average of 28% and 16% for leaves and twigs respectively, increased the base saturation and the pH level and the availability of water in the soil (from 13% to 25% more available water in the first layer of the soil, 0-10 cm). The balance of nutrients, in the test plots, showed that those plots that received municipal composted organic wastes presented the largest contents of N, P, K and Ca, 86 months after the establishment. As well, after harvesting, remained the largest nutrient pools in the same plots, contributing significantly to keep the forest productivity. The rain also contributed to the replacement of nutrients, 36% of N, 28% of P, 73% of K, 65% of Ca and 42% of Mg of total exported during wood harvesting. This study emphasized again the importance to keep the bark on site to the economy of nutrients. The bark accounted for about 32% of the amount of nutrients present in the above ground biomass of the trees. The large quantity of nutrients in the litter highlights the importance to conserve the organic matter to contribute to the sustainability of the production system.

1 INTRODUÇÃO

Os povoamentos florestais têm sido amplamente estudados como ecossistemas potencialmente aptos a absorver boa parte dos resíduos do setor florestal e dos resíduos urbanos, principalmente aqueles de natureza lignocelulósica, utilizados como fertilizantes e também como condicionadores do solo.

Por sua vez, os plantios com eucalipto, um dos principais gêneros florestais cultivados no Brasil para fins industriais, geralmente se localizam em solos de baixa fertilidade natural. Este gênero é sensível a uma baixa disponibilidade de nutrientes minerais e para obter plantios produtivos nestes solos é recomendada uma complementação na oferta de nutrientes, assim como para a reposição dos nutrientes exportados nas colheitas. Considerando o alto custo dos fertilizantes, empresas florestais estão buscando alternativas para os fertilizantes tradicionalmente utilizados, e entre estas está a utilização de resíduos de natureza orgânica da indústria florestal, já incorporada ao sistema de produção, principalmente de grandes empresas no Brasil, e de resíduos orgânicos urbanos, como o lixo e o lodo de esgoto, que constituem uma opção mais recente, apesar de estes resíduos já serem utilizados em outros países há algumas décadas, fruto do tratamento e gerenciamento de resíduos e do planejamento de usos mais antigos, com ênfase em Países da Europa e nos Estados Unidos da América.

O uso agrícola de resíduos tem por objetivo não somente o aumento na oferta de nutrientes, mas também do aumento da matéria orgânica do solo, melhorando suas propriedades físicas como densidade, porosidade e capacidade de retenção de água e as biológicas através do enriquecimento da atividade macro, meso e microbiológica do solo. Tais fatores, conseqüentemente, influenciam de forma positiva a ciclagem de nutrientes,

colocando em disponibilidade aqueles presentes na serapilheira, em curto espaço de tempo e contribuindo ainda para o aumento do regime hídrico do solo quando o resíduo é aplicado através de irrigação por meio de efluentes. Porém, a aplicação de resíduos em solos florestais deve ser acompanhada de estudos detalhados sobre as implicações ambientais, principalmente no solo e nas águas subterrâneas, uma vez que, dependendo do resíduo, este pode conter produtos contaminantes ou desbalancear o solo pelo excesso de alguns elementos químicos.

Além da avaliação dos ganhos em produtividade, é necessário o monitoramento da distribuição de nutrientes nos diversos componentes do sistema, tais como: solo, serapilheira e na água de precipitação após a passagem pelas copas das árvores. Este monitoramento possibilita uma avaliação mais abrangente da eficiência e das implicações do uso de resíduo em plantios florestais, no aumento de produtividade e na manutenção do potencial produtivo do solo nas sucessivas rotações.

Dentro deste contexto, neste trabalho procurou-se avaliar os efeitos da aplicação de lixo urbano orgânico compostado e de fertilizantes minerais, sobre a produtividade de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, no estoque de nutrientes na serapilheira e na árvore e sobre as condições químicas e físicas do solo, após 86 meses do plantio. Além dessas variáveis, foram estudados também a decomposição da serapilheira e o fluxo de nutrientes através da água de chuva, entre os 30 e 60 meses de idade das árvores. Por último, foi elaborada uma estimativa do balanço de nutrientes no sítio florestal, considerando as perdas de nutrientes pela retirada de madeira aos 86 meses de idade e o estoque remanescente pela manutenção da casca, galhos e folhas das árvores e da serapilheira no solo após o corte e retirada da madeira no sítio florestal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Resíduos são todos os materiais sólidos, pastosos, líquidos ou gasosos descartados nos processos de produção, transformação e utilização ou consumo, sem que se estabeleça um uso de valor e de mercado. Quanto à origem, os resíduos podem ser classificados em diferentes tipos: resíduos da produção agrícola e florestal; hospitalar; urbanos (como o lixo e o esgoto) e resíduos industriais. O lodo é um exemplo de resíduo proveniente das instalações de tratamento de águas residuárias quer de origem urbana ou industrial cuja composição torna inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou nos corpos de água (NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2000).

Quantidades significativas de resíduos orgânicos são produzidas a cada ano tais como: lodo de esgoto doméstico e urbano, lixo urbano, resíduos da criação de animais, rejeitos das fábricas de papel e celulose, resíduos da indústria de produção de alimentos, tornando-se indispensável à obtenção de práticas econômicas e seguras para a disposição e utilização destes resíduos. Com o aumento dos custos de energia e de fertilizantes, alguns resíduos orgânicos têm sido novamente considerados como fontes de nutrientes para o crescimento de plantas e para a melhoria do solo (ELLIOTT; STEVENSON, 1977).

As decisões técnicas e econômicas sobre o manejo de resíduos deverão estar fundamentadas na classificação de seus riscos potenciais ao ambiente e a saúde pública. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a classificação dos resíduos é realizada em função de suas propriedades físicas, características químicas e infecto-contagiosas, padronizando assim os resíduos perigosos de classe I, não inertes de classe II e inertes classe III, ou seja, os não solúveis (NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2000).

2.1 Lixo Urbano

A produção e o destino do lixo urbano é um dos maiores problemas com que se defrontam as grandes cidades no mundo. No Brasil, a cidade de São Paulo gera cerca de 12.000 ton/dia de lixo doméstico, dos quais 50% são constituídos de matéria orgânica (JAHNEL; MELLONI; CARDOSO, 1999). Nos EUA, o Departamento de Manejo de Resíduos Sólidos estimou para este país uma produção per capita de 2,3 - 3,6 kg/dia de lixo urbano, sendo que a disposição final de 94% desse resíduo não é satisfatória (SMITH; EVANS, 1977).

Segundo OLIVEIRA, LIMA e FERREIRA (1999), um estudo realizado pelo IBGE, em 1989, revelou que das 4.500 empresas de limpeza pública existente na totalidade dos municípios brasileiros apenas 58 participavam de algum tipo de coleta seletiva. Das 96 mil toneladas de lixo coletadas por dia no país, 88% iam direto para depósitos a céu aberto ou para áreas alagadas, 10% para aterros sanitários e só 2% eram destinadas à incineração ou a usinas de beneficiamento.

O lixo urbano pode incluir resíduos de origem doméstica e industrial de uma cidade. Normalmente, o lodo de esgoto não está incluído. A composição deste lixo urbano pode variar bastante e é influenciada também pelas particularidades de cada cidade (produção rural e industrial, níveis de renda da população, existência ou não de programas de reciclagem de lixo, principalmente com a separação e coleta seletiva do lixo).

A separação e a coleta seletiva do lixo nos próprios domicílios e escritório é uma das formas de melhorar a qualidade do lixo urbano para a reciclagem, pois evita, no ato de sua produção, a mistura dos diversos componentes do lixo urbano, e conseqüentemente diminui os riscos de possíveis contaminações químicas e ou biológicas entre estes componentes.

2.1.1 Composição do lixo urbano

Papel, alimentos e restos de plantas correspondem a 80% de todo o material presente na composição do lixo urbano de algumas cidades americanas. Os outros 20% são metais, vidros, cerâmica, plástico, tecidos, couro, tintas, óleo e pó (McCALLA; PETERSON; LUE-HING, 1977).

A caracterização química do lixo urbano de usinas de compostagem em diferentes estados brasileiros mostrou teores médios totais de matéria orgânica, C, N, P, K, Ca, Mg e micronutrientes bastante variados e elevados, constituindo, assim, fontes alternativas de matéria orgânica e nutrientes para as plantas. Com relação à presença de substâncias tóxicas, foram constatados teores de Cu, Zn, Pb, Ni, Cr e Cd acima dos níveis toleráveis, segundo a legislação alemã específica para composto orgânico de lixo urbano (CRAVO; MURAOKA; GINÉ, 1998).

GROSSI (1993), ao avaliar a concentração de alguns metais pesados em resíduos ou produtos resultantes da disposição ou tratamento de resíduos sólidos municipais, verificou valores que podem representar considerável contaminação ambiental.

A maioria dos compostos orgânicos de lixo urbano tem algum valor para as culturas agrícolas (HORTENSTINE; ROTHWELL, 1968), porém o seu grande volume, os custos de processamento e de transporte, assim como a sua composição variável, não favorece o seu uso. Portanto, na ausência de mercado para o lixo urbano, a sua incorporação em plantios florestais pode ser uma alternativa de aproveitamento deste resíduo.

Segundo FERRO NETO (1997), uma tonelada de composto orgânico de lixo urbano no Brasil fornece aproximadamente 8 kg de N, 2 kg de P e 3 kg de K, indicando dessa forma que as dosagens deste produto para uso agrícola deverão ficar entre 10 a 20 ton/ha. O autor também constatou a presença de pequenas quantidades de Ca e Mg, além de quantidades apreciáveis de Zn, Fe e Mn. Na Itália, a análise dos compostos orgânicos de

lixo urbano revelou valores semelhantes aos relatados por FERRO NETO (1997), referente aos conteúdos de N e P, no entanto para o K o valor encontrado foi o dobro (BAZZOFFI *et al.*, 1998).

Nestes resíduos sólidos do lixo urbano também são encontrados ácidos húmicos que analisados por meio de técnicas térmicas degradativas, indicaram a presença dos compostos heterocíclicos: pirróis, derivados do emidazol, piridinas, benzoxazol, escatol e quinolinas. Estes compostos fazem parte de uma fração do N orgânico humificado hidrolizável, conhecido como não identificável que representa uma fonte adicional de nitrogênio para a nutrição de plantas e microrganismos (CANELLAS *et al.* 1999).

2.2 Utilização de resíduos orgânicos

A aplicação de resíduos orgânicos em plantios florestais é uma alternativa que influencia positivamente as condições físicas, químicas e biológicas do solo, com o aumento do suprimento dos nutrientes que são demandados pelas árvores (GUERRINI *et al.*, 1994; ZEN *et al.*, 1994; ANDRADE *et al.*, 1995; BELLOTE *et al.*, 1995; FERREIRA *et al.*, 1995; DIONISIO, 1996; SOUZA *et al.*, 1996; FERRO NETO, 1997; GONÇALVES *et al.*, 2000b; NOLASCO; GUERRINI; BENEDETTI, 2000).

Além dos nutrientes, deve-se mencionar a importância da adição de matéria orgânica nos solos, que não pode ser considerada apenas como uma fonte de nutrientes minerais. Talvez sua maior importância, quando em estágios avançados de decomposição, seja sua notável propriedade de natureza coloidal, que contribui para a melhoria das propriedades físicas do solo (principalmente na capacidade de retenção de água), e para o aumento da capacidade de troca de cátions. De acordo com FERRO NETO (1997), por se tratar de um produto orgânico, a liberação de nutrientes em geral ocorre de uma maneira gradual possibilitando um maior aproveitamento pela planta, fato que se constitui numa vantagem para as culturas de ciclo longo.

Contudo, GLÓRIA (1992) destacou a importância do exame cuidadoso de resíduos, quer como fonte de matéria orgânica ou não, face à variabilidade da sua composição química e de seus efeitos no solo, aliado a uma série de cuidados quanto aos preceitos legais e aspectos sociais que geralmente envolve o seu uso.

Trabalhos sobre a utilização de resíduos orgânicos em plantações florestais relatam problemas de redução no crescimento e até de mortalidade de árvores devido ao aumento de ervas daninhas e conseqüentemente da competição no sítio por luz, água e nutrientes, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento das árvores (SMITH; EVANS, 1977).

No caso da utilização do lodo de esgoto urbano como fertilizante em plantios florestais, HASSELGREN (1998) relatou que o crescimento de *Salix* aumentou com a quantidade de lodo aplicada, e concluiu que povoamentos florestais para energia, fertilizados com o lodo, teriam uma produção similar aos de *Salix* plantados convencionalmente, os quais possuem gastos com fertilização e irrigação correspondentes entre 20 a 30% dos custos totais para a produção da madeira. O autor também destacou a necessidade de uma complementação nutricional com K, que apresenta baixos teores no lodo de esgoto.

McDONALD *et al.*, em 1994, utilizando vários resíduos orgânicos, inclusive o lodo de esgoto urbano, em plantações florestais com nove anos de idade, observaram que as árvores antes estagnadas responderam, dois anos após a aplicação dos resíduos, em diâmetro do tronco e em altura, e que houve aumentos nas concentrações dos macronutrientes foliares para a maioria dos resíduos testados, concluindo que povoamentos florestais com crescimento paralisado podem ter incrementos na produtividade após receberem resíduos orgânicos.

O problema principal do uso contínuo de lodo numa mesma área é a acumulação de

metais pesados tóxicos. Na medida em que elevadas quantidades de matéria orgânica estão sendo aplicadas continuamente, a decomposição da matéria orgânica libera os metais pesados, aumentando-se os riscos de contaminação, principalmente em regiões quentes e úmidas, onde a decomposição é mais rápida. Se os resíduos forem aplicados em baixas doses, os problemas com metais pesados podem ser minimizados. Entre os metais pesados destaca-se o Cd com riscos elevados para a saúde humana e o Cu e o Zn que em altas dosagens são problemas potenciais para a esterilização do solo (THOMAS, 1977).

BERGAMIN *et al.* (1994) utilizaram resíduos de fábrica de celulose e papel em plantios de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* Smith. Os autores observaram que o melhor tratamento foi a aplicação de 8,4 ton/ha de lodo da Estação de Tratamento de Efluentes (resíduo orgânico) + 3,6 ton/ha de Dregs e Grifts (resíduos ricos em Ca, gerados no processo de recuperação do licor após o cozimento da madeira), produzindo aumentos em volume estéreo de madeira, aos sete anos de idade, de 139% e 117% para *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente com relação à testemunha.

FABRES, COUTO e CONCEIÇÃO (1994), também com ensaio de campo de aplicação de lodo biológico de fábrica de celulose e papel e adubação mineral em plantios de *Eucalyptus grandis*, constataram que as doses de lodo testadas (20, 40 60 e 80 m³/ha) tiveram efeitos significativos sobre o crescimento das plantas aos sete meses de idade, em Argissolo, onde plantas que só receberam o lodo apresentaram ganhos em altura de 68% com relação à testemunha (sem lodo), estimando-se uma dose de lodo de 81 m³/ha (com 89% de umidade, ou seja, 11 m³/ha seco) para se obter um ganho máximo sem adubo químico. Segundo os autores, estes resultados devem-se provavelmente aos elevados teores de matéria orgânica, Ca, N e P do lodo, sendo recomendada uma adubação química no plantio e uma dose econômica de lodo de 40 m³/ha, além de uma complementação de K em solos com deficiência deste elemento.

BELLOTE *et al.* (1994), em ensaio de aplicação de resíduo de celulose e cinza de caldeira, ambos de fábrica de papel e celulose, no plantio de *E. grandis*, em Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram, aos três anos de idade, aumentos nas alturas das árvores dominantes de 25% para o tratamento que foi aplicado 50 ton/ha de resíduo de celulose (20,5 m) e de 19% para o que foi aplicado 50 ton/ha de cinza (19,5 m) quando comparados com a testemunha (16,4 m). Estes valores percentuais para os ganhos em altura das árvores podem parecer baixos, mas apenas uma diferença de 3,0 cm a mais de diâmetro à altura do peito (DAP) para o tratamento de resíduo com relação à testemunha (18 cm contra 15 cm) significaria 80% a mais de volume cilíndrico de madeira em relação à testemunha.

GUERRINI e MORO (1994) também testaram diferentes quantidades destes resíduos, puros e em conjunto, em plantios de *E. grandis* em Latossolo. No ensaio onde aplicou-se no momento do plantio doses crescentes de cinza, a maior produção volumétrica de madeira aos seis anos de idade foi com 20 ton de cinza/ha (495,3 m³/ha), correspondendo a 56% de aumento de volume cilíndrico de madeira em comparação com a testemunha. Em outro experimento também verificou-se, aos dois anos de idade, grandes aumentos na produção volumétrica do eucalipto, provocados pela utilização de cinza e de resíduo de celulose, principalmente quando aplicados os dois juntos, promovendo o maior ganho em volume cilíndrico de madeira (87% a mais do que a testemunha) na parcela que recebeu 15 ton/ha de resíduo de celulose + 15 ton/ha de cinza (107,5 m³/ha).

Da mesma forma, ANDRADE *et al.* (1997) testando o uso de resíduos de celulose em plantios de *E. dunnii*, com aplicações a lanço, 12 meses após o plantio, de 10 a 80 ton/ha, em Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram que esta espécie respondeu em crescimento aos 24 meses de idade, com ganhos em altura de árvores de até 41% em comparação com a testemunha.

As plantações florestais são também ambientes aptos a receber resíduos na forma

de efluentes. Estes ecossistemas possuem melhores condições para a infiltração da água no solo e para a fixação do fósforo do que os sítios agrícolas, e desta maneira são mais apropriados para a disposição deste tipo líquido de resíduo (SOPPER; KARDOS, 1972).

Como em muitas áreas florestais, a produtividade é limitada de maneira moderada ou severamente pela falta de nutrientes ou de água, a irrigação do solo com resíduos líquidos (lodo ou efluentes), além de aumentar a quantidade de nutrientes do sítio, pode melhorar também o regime hídrico do solo e favorecer o crescimento das árvores. O tipo, a extensão e a duração da resposta das árvores dependerão de vários fatores, incluindo a espécie, idade, sítio e das doses e composição do resíduo aplicado (CHAPMAN-KING *et al.*, 1986).

Ainda sobre a condição hídrica do solo, SORT e ALCANIZ (1999) observaram em solos degradados que a aplicação de lodo de esgoto aumentou a microporosidade, permitindo a aeração e drenagem da água de chuva e de irrigação, reduzindo o risco de erosão do solo.

Uma outra questão sobre a resposta em crescimento de espécies arbóreas quando da aplicação de resíduos líquidos urbanos ou industriais, como o lodo de esgoto ou efluentes de estações de tratamento de esgoto, é a característica ecológica da espécie assim como as condições de drenagem do solo. Se uma determinada espécie não tolera solos permanentemente saturados, a aplicação desses resíduos pode ter efeito negativo no seu desenvolvimento. Isto é confirmado por resultados como de SOPPER e SAGMULLER (1966) em estudos com *Pinus resinosa*, que respondeu positivamente sob baixas taxas de irrigação de resíduos na forma de efluentes, porém teve afetado o seu crescimento quando se irrigou 50,8 mm do efluente por semana, possivelmente pelo efeito prejudicial de um maior volume de água no solo.

Por outro lado, SETTERGREN, TURNER e HANSEN (1975), irrigando oito

espécies florestais com água residual de uma área de recreação (camping) em Missouri (EUA), concluíram que, devido aos baixos teores de nutrientes na água, a resposta no crescimento das árvores foi atribuída principalmente à maior quantidade de água.

2.2.1 Lixo urbano como adubo orgânico

De acordo com McCALLA, PETERSON e LUE-HING (1977), devido à composição variada do lixo urbano, este deve ser separado para a aplicação no solo como fertilizante. Esta separação requer intensivo trabalho manual ou uso de máquinas apropriadas. A parte não-biológica do material separada pode ser reciclada. A fração do composto, livre de materiais inertes, pode ser misturada com carvão e usada como energia, ou picada para servir como “*mulch*” ou compostada para uso no solo.

Na Europa são produzidos 300 kg/ano de resíduos orgânicos por pessoa, dos quais somente 5%, cerca de 15 kg, são compostados (CHASSIN, 1992).

Existem diversos métodos de compostagem, porém eles podem ser resumidos em processo estático ou dinâmico. No método estático o lixo é empilhado ao ar livre em camadas bem ventiladas, fazendo-se uma ou duas reviradas nas pilhas durante a compostagem. Neste processo, o desenvolvimento de fungos é intenso. O método dinâmico requer contínuas misturas do composto e a flora principal é de bactéria, seguida por uma fase estática onde se dá a maturação do composto. Esta fase de mistura é importante quando líquidos, como lodo de esgoto ou esterco líquido cru, são incorporados ao lixo picado, pois a utilização destes compostos “*in natura*”, como fontes de umidade, podem desenvolver bolsões anaeróbicos na pilha e causar odores indesejáveis. Quando estes materiais a serem incorporados já estão compostados, reduz-se o problema com odores e também se obtém uma temperatura máxima de 60° C na compostagem do lixo, que é ideal para a germinação de esporos patogênicos e para a morte dos organismos formados, devido à exposição a esta temperatura (McCALLA; PETERSON; LUE-HING, 1977).

Destaca-se ainda a necessidade da avaliação do composto proveniente de lixo urbano, determinando a efetividade da compostagem na eliminação de microrganismos, em especial os patogênicos, com ênfase nos parasitos intestinais humanos. Além disto, para a segurança do uso do composto orgânico de lixo urbano como adubo, recomenda-se orientar a população para não incluir material fecal humano e de animais domésticos no lixo domiciliar GELLI (1994).

Uma outra alternativa de uso do composto de lixo urbano é o seu processamento por minhocas. Este processo além de estreitar a relação C/N (carbono/nitrogênio), possivelmente favorece o aumento em duas vezes da CTC (complexo de troca de cátions) do composto em comparação com o composto apenas curado ao ar livre. Também, testes de retenção de umidade indicaram bons resultados: 100 g de composto são capazes de reter 87 ml de água (FERRO NETO, 1997).

Em São Paulo, o composto orgânico produzido a partir de lixo urbano, nas usinas de compostagem, é largamente utilizado por agricultores como corretivo orgânico do solo e ou fertilizante, relatando-se aumentos do rendimento de culturas, melhoria da estrutura do solo e a redução da ocorrência de pragas (LIMA *et al.*, 1999). Porém, estes autores comentam que os agricultores aplicam o composto, na maioria dos casos, ainda cru, diretamente no solo e em quantidades que podem chegar a dez vezes mais do que a recomendada, podendo em longo prazo, sobrecarregar o solo.

A fertilidade do solo pode condicionar a resposta das plantas à aplicação do composto de lixo urbano uma vez que a aplicação deste composto em solo com fertilidade superficial muito elevada, cultivado com cenoura, não aumentou nem diminuiu a sua produção (PÉREZ *et al.*, 1996).

Aumentos nos teores de potássio em substratos e solos com o uso de composto de lixo urbano são relatados em diversos trabalhos (CABRERA; DIAZ; MADRID, 1989;

FRITZ; VENTER, 1989; ALCOFORADO; TRINDADE, 1993; TRINDADE; DIAS; JUCFSCH, 1997). Contudo, MURILLO *et al.* (1991) não encontraram um aumento diferenciado de K para o solo que recebeu o composto de lixo, entretanto as maiores absorções de K pelas plantas agrícolas ocorreram com a dose máxima de composto.

Aplicações sucessivas de composto de lixo urbano em solos calcíticos com centeio e hortaliças, nas dosagens de 150 a 400 ton/ha, durante oito anos, promoveram aumentos nos níveis de P orgânico e P disponível, resultando numa absorção maior de P pelas plantas (CABRERA *et al.*, 1991). Enquanto que a aplicação de composto de lixo urbano em solos arenosos plantados com sorgo aumentou o pH, a matéria orgânica, as bases trocáveis, a CTC e reduziu o potencial de acidez (ALVES; MELO; FERREIRA, 1999). DIAZ-BARRIENTOS *et al.* (1999) verificaram aumentos no conteúdo de metais no solo que, em geral foi causado pela contribuição dos metais originalmente presentes no composto de lixo urbano.

A presença de metais pesados em hortaliças tem sido contraditória. Em culturas de alface, adubadas com composto de lixo urbano, verificou-se concentração foliar de Pb acima do limite de tolerância (SANTOS; CASALI; MIRANDA, 1998). Entretanto, não foi verificada a presença de metais pesados em hortaliças cultivadas com este tipo de composto por LIMA *et al.* (1999). Estes fatos fazem supor que a composição inadequada assim como as quantidades aplicadas de composto de lixo urbano podem condicionar a presença de metais pesados em hortaliças.

HERNANDEZ *et al.* (1992), avaliando diferentes resíduos orgânicos urbanos em hortaliças em solos calcíticos, com doses variando de 60 a 180 ton/ha, verificaram maiores produtividades com lodo de esgoto “*in natura*” e com resíduos compostados. No caso do lixo urbano não compostado, os resultados foram adversos para as doses mais altas, talvez pela presença de substâncias fitotóxicas que não ocorrem no lodo, ou de que os altos

conteúdos de N e P do lodo anularam qualquer efeitos negativos. Da mesma forma, COSTA *et al.*, em 1997, verificaram, em ensaios realizados com aplicação de lixo urbano compostado em culturas de cenoura, um aumento nos conteúdos foliares de Zn, Cu e Cd, mas não acima dos níveis toleráveis. Porém eles ressaltaram como sendo o principal fator limitante desta aplicação a redução no crescimento das plantas.

KOTZE e JOUBERT (1992) aplicaram 270 m³/ha de composto de lixo urbano, incorporando-o em solo bastante arenoso, antes do plantio de árvores de damasco. Após seis anos de observação, houve ganhos em crescimento, maior circunferência do tronco (16%), aumentos para o solo dos teores de K, da capacidade de retenção de água e da densidade de raízes nos primeiros 30 cm, que elevaram a renda estimada bruta em 79% em comparação com a testemunha.

PERTTU (1993) ressaltou que na medida que os conteúdos de metais pesados de compostos orgânicos sejam mantidos abaixo dos níveis de tolerância tais produtos podem ser considerados como fonte valiosa de nutrientes, e particularmente quando a vegetação é produzida para fins de energia ao invés do uso direto ou indireto para consumo humano.

Vários experimentos de uso de resíduos urbanos em mudas de espécies arbóreas comprovaram a eficiência desta prática para o aumento do crescimento das plantas (HENRY, 1986; SEVA *et al.*, 1996a; ALVES; PASSONI, 1997; TRINDADE; DIAS; JUCFSCH, 1997; CAMACHO-HERNANDEZ; FONSECA-GONÇALEZ; PANIAGUA-VASQUEZ, 2000). Contudo, há resultados em que o composto de lixo urbano teve um efeito negativo na sobrevivência e no crescimento de mudas arbóreas (SEVA *et al.*, 1996 b)

Em ensaios de campo, ZEN *et al.* (1994) obtiveram ganhos em produtividade com o uso do composto orgânico proveniente da compostagem simples (cura ao ar livre) de lixo urbano adicionado conjuntamente com a adubação mineral para *E. grandis* em solos

arenosos, maiores do que os obtidos com o uso apenas de fertilizantes minerais. Destacam-se alguns resultados individuais desses experimentos: as aplicações no plantio de 21, 28 e 56 ton/ha de composto + adubação comercial da empresa (210 kg/ha de NPK 10-20-10 + 100 kg/ha de adubo fosfatado) resultaram em ganhos em volume cilíndrico de madeira, aos quatro anos de idade, de 72 a 75% e de 30 a 33% em comparação, respectivamente, à testemunha absoluta e ao tratamento que recebeu somente a adubação comercial da empresa; os ganhos em volume cilíndrico de madeira no ensaio de brotação (2ª rotação) aos quatro anos de idade do tratamento que recebeu a maior dose de composto (56 ton/ha) com relação à testemunha absoluta e à adubação comercial da empresa foram de 263% e 164%, respectivamente. Entretanto, com a aplicação de dosagens menores, de 14, 21 e 28 ton/ha, também em comparação com estes dois tratamentos, os ganhos não foram tão espetaculares, variando entre 101 a 123% e 46 a 62%, respectivamente, indicando que para obter maiores produtividades serão necessárias aplicações de altas quantidades, podendo tornar esta prática economicamente inviável.

PÉREZ *et al.* (1997) avaliando o efeito do composto de lixo urbano no desenvolvimento do híbrido *E. urograndis*, não encontraram diferenças significativas para variáveis de crescimento até os 16 meses de idade, apesar de todos os tratamentos que receberam composto, possuírem altura e diâmetro de plantas maiores que a testemunha. Embora as altas dosagens testadas (até 120 ton /ha), os autores sugerem que a fertilidade elevada na superfície do solo no experimento (Cambissolo) pode ter influenciado a não diferenciação estatística entre os tratamentos neste estágio inicial de crescimento.

BENGTSON e CORNETTE (1973) aplicaram composto de lixo urbano em plantações jovens de *Pinus elliottii* Engelm. e não verificaram melhorias no crescimento das árvores, sendo que dosagens até 50 ton/ha também não causaram efeitos negativos ao desenvolvimento das plantas. SMITH e POST (1974), testando compostos de lixo urbano,

nesta mesma espécie, na Flórida, em solos de má drenagem, constataram que a aplicação do composto dobrou a altura e triplicou a produção de biomassa das árvores. Nesse experimento, o lixo urbano foi umedecido com lodo de esgoto urbano e compostado por cinco dias, sendo então aplicado em área recentemente desmatada, espalhado na superfície do solo com incorporação ou colocado em sulco, nas dosagens de 123, 247 e 494 ton/ha (úmidos). Aparentemente compostos químicos liberados pelo lixo não se infiltraram além dos horizontes superficiais. As análises químicas dos tecidos das plantas (folhas das árvores e da vegetação que cresceu entre as árvores) mostraram que a redução no crescimento observada com a dose mais alta de lixo (embora sua produção tenha sido maior que a testemunha) foi devida preferencialmente a uma competição com a vegetação do sub-bosque do que por níveis tóxicos de metais pesados.

BAZZOFFI *et al.*, em 1998, estudaram o efeito da aplicação de composto de lixo urbano em cultura de milho e verificaram um efeito positivo nas propriedades físicas do solo e na redução da erosão e do escoamento superficial da água. CADILON, LACASSI e BELVAUX (1999), também comprovaram que o composto orgânico de lixo urbano aumenta a estabilidade estrutural, a capacidade de retenção de água e a porosidade de solos salinos. Do mesmo modo, PAGLIAI e ANTISARI (1993) verificaram uma mudança efetiva na porosidade e microestrutura do solo, destacando o importante papel do lixo no aumento da macro e microporosidade dos solos testados.

DIAZ *et al.* (1994) constataram um aumento da atividade microbiana e a formação de agregados estáveis após correção do solo com lixo urbano. Destaca-se que a adição de compostos orgânicos de lixo urbano também favorece a retenção de água no solo (SCHEINBERG, 1995).

2.2.2 Resíduos orgânicos e ciclagem de nutrientes

Um outro aspecto importante da adição de resíduos orgânicos em plantios florestais é o seu efeito na ciclagem de nutrientes do sistema florestal, que segundo SWITZER e NELSON (1972) envolve três ciclos nos ecossistemas florestais, denominados de geoquímico, bioquímico e biogeoquímico.

O ciclo geoquímico compreende a troca de nutrientes entre ecossistemas como a entrada de nutrientes pela atmosfera por via úmida (chuva) e seca (poeira). O bioquímico ou ciclo interno corresponde a redistribuição de nutrientes nos tecidos da árvore. E por último, o ciclo biogeoquímico que é a troca de nutrientes dentro do ecossistema, como a que ocorre no processo de absorção de nutrientes pelas raízes, no fluxo de nutrientes pela água de chuva quando escorre pelas folhas, galhos e tronco das árvores e ainda pela liberação de nutrientes na decomposição da matéria orgânica do solo.

A água de chuva e a serapilheira são importantes fontes de elementos minerais, principalmente em solos de baixa fertilidade, onde estão localizados grandes áreas de reflorestamento com eucalipto. A lavagem dos nutrientes minerais da copa pode intensificar a ciclagem biogeoquímica. A água das chuvas que atinge o solo também contribui com nutrientes, nas formas prontamente assimiláveis, podendo ser rapidamente absorvidos pelas raízes. Por sua vez, a reciclagem dos nutrientes da serapilheira depende da qualidade e da quantidade de material vegetal depositado e da velocidade de sua decomposição.

Grande parte da demanda anual de nutrientes em povoamentos adultos de *E. grandis* provém da ciclagem, evidenciando a menor dependência da fertilidade do solo neste estágio. Portanto, povoamentos bem supridos de nutrientes nos seus primeiros anos de crescimento assegurarão maior quantidade na biomassa e maior estoque disponível para os processos de ciclagem (GONÇALVES *et al.*, 2000a).

Quando se adiciona resíduos orgânicos no solo além do aumento na quantidade de

nutrientes no sítio pode-se alterar as propriedades físicas e a biologia do solo, todos a princípio, relacionados com a ciclagem de nutrientes.

A aplicação de resíduos orgânicos de origem urbana no solo aumenta a concentração de matéria orgânica facilitando os processos microbianos, a humificação, a agregação do solo e, conseqüentemente, contribuindo para a mineralização de uma maior quantidade de matéria orgânica, além de diminuir os compostos químicos da serapilheira que retardam o processo de decomposição, como os taninos e ácidos fenólicos (SORENSEN, 1975; RICE, 1979).

DIONÍSIO (1996), avaliando a microfauna do solo em *E. grandis*, com a aplicação de lixo urbano orgânico compostado e adubos minerais, encontrou maiores densidades populacionais, biomassa microbiana e respiração edáfica nos tratamentos que receberam o composto de lixo, o que pode contribuir para a aceleração da decomposição da serapilheira e liberação de nutrientes. Já os tratamentos que utilizaram apenas adubação mineral, de um modo geral apresentaram os menores valores.

PASCUAL, GARCIA e HERNANDEZ (1999) estudaram o efeito da adição da fração orgânica do lixo urbano, oito anos após a aplicação, sobre as propriedades bioquímicas e microbiológicas de um solo árido. Os autores encontraram teores de matéria orgânica mais elevados do que a testemunha e um efeito positivo na atividade de enzimas relacionadas com os ciclos do C, N e do P, indicando que a adição de lixo urbano poderia ser uma técnica apropriada para a recuperação da qualidade de solos.

Também em região semi-árida, a avaliação química durante três anos de um solo que recebeu resíduo urbano, variando de 65 a 260 ton/ha, orgânico em sua maioria, mostrou alterações nos teores de K, P, N, Na, C orgânico, entre outros. Os sais foram rapidamente lixiviados, enquanto que os nutrientes das plantas ficaram retidos, não ocorrendo aumentos consistentes em metais pesados, podendo-se concluir que uma simples

adição de resíduo urbano, que aumenta a matéria orgânica de 0,5 para 1,0%, apresenta pouco risco para o meio ambiente e trouxe benefícios consideráveis à reabilitação de terras degradadas (ALBALADEJO *et al.*, 1994).

Resultados similares foram encontrados por PASCUAL *et al.* (1997), ao testarem a atividade biológica em substratos com solos de região árida, tratados com a adição de resíduos orgânicos urbanos. Houve aumentos significativos da biomassa de carbono, da respiração, da relação entre biomassa de carbono e total de carbono orgânico e do coeficiente metabólico (qCO_2), indicando maiores atividades microbianas nos substratos que receberam resíduos *in natura* de lixo urbano e de lodo de esgoto do que com a adição de resíduo compostado, sendo que estas alterações biológicas, foram mais duradouras para o substrato com lixo urbano.

FERREIRA *et al.* (1996) observaram que a decomposição da serapilheira, em parcelas de *E. grandis*, quando aplicado cinza de caldeira e resíduo de celulose, foi pelo menos três vezes mais rápida do que nas parcelas que tiveram somente adubos químicos. A aplicação de resíduo e cinza também aumentou a quantidade de biomassa de serapilheira de folhas e galhos depositada anualmente. Ressalta-se que a decomposição mais rápida na presença de resíduos significa uma liberação de nutrientes maior que na parcela sem resíduos. Estes resultados explicam, em parte, o aumento de 38% em madeira obtido aos três anos de idade, com a adição desses componentes.

Estes autores ainda destacaram que para se determinar com precisão o efeito da decomposição acelerada da serapilheira no balanço nutricional, é necessário considerar que a medida que aumenta a liberação dos nutrientes da matéria orgânica, aumentam também as chances de perdas por lixiviação. Portanto, seria recomendável que a lixiviação dos diversos nutrientes fosse avaliada, mesmo que vários dados mostrem ser muito pequenas as perdas quando se considera o ambiente florestal.

LOURENÇO *et al.* (1997), ao avaliar a utilização de lodo de esgoto urbano no sistema de produção de *Mimosa scabrella* Benth, em Cambissolos, na região metropolitana de Curitiba, concluíram que praticamente não ocorreu drenagem abaixo dos 75 cm de profundidade, o que minimizaria uma possível contaminação dos aquíferos profundos provenientes do uso de lodo de esgoto, e também prováveis perdas de nutrientes por lixiviação, que poderiam reduzir o estoque de nutrientes disponíveis na ciclagem solo/planta.

MIEGROET, BOSTON e JOHNSON (1989), utilizando este tipo de resíduo em florestas e pastagens, observaram uma retenção, em grande parte de N, de P e de metais pesados, nos primeiros 15 cm do solo. A solução do solo apresentou altas concentrações de nitrato, freqüentemente acima de 100 mg/l, porém não houve aumento na concentração na água do lençol freático durante o primeiro ano.

Por outro lado, ROY e COUILLARD (1998) verificaram que o lodo de esgoto urbano aplicado em plantações florestais pode aumentar a lixiviação de metais, principalmente quando se utiliza doses iguais ou superiores a 23,1 ton seca/ha em solos com pH < 4,5.

2.2.3 Manejo florestal e sustentabilidade de plantios de *Eucalyptus grandis*

Considerando que a maioria das plantações florestais localiza-se em sítios de baixa capacidade produtiva, as perdas de nutrientes pela exploração e remoção da madeira e as perdas por erosão nas áreas desmatadas podem causar impactos aos sistemas de produção. Contudo, podem ser utilizadas medidas para minimizar os efeitos diretos e indiretos da colheita da madeira, tais como: adubação, cortes em faixa, aumento do ciclo de corte em solos pobres em nutrientes e construção de boas estradas, entre outras (VAN HOOK *et al.*, 1982).

No início dos reflorestamentos com eucalipto no Brasil, não era comum a prática de adubação dos plantios. O primeiro trabalho publicado de adubação foi de 1968. Hoje, na

maioria dos sítios florestais existentes no País obtêm-se ganhos de produtividade em resposta a adubação mineral. Porém, o *E. grandis* tem sido plantado no Brasil em solos pobres em nutrientes e de textura arenosa e média, representando um desafio manter o potencial produtivo do solo nas diversas rotações da área cultivada.

Apesar do *Eucalyptus* reciclar o P internamente de modo eficiente, à aplicação de quantidades adicionais deste nutriente nos plantios proporciona respostas significativas no crescimento das árvores (CROMER *et al.*, 1981). ANDRADE *et al.*(1997) encontrou ganhos em produtividade de *E. dunnii* Maid aos dois anos de idade com doses crescentes de P até 560 g / planta de super fosfato simples em latossolo vermelho-amarelo.

GAVA (1997) em pesquisa de adubação potássica em *E. grandis* na segunda rotação (brotação), encontrou respostas significativas em crescimento das árvores em condições de solo com 14 ppm de K, sugerindo a sua aplicação nas próximas rotações, pois este nutriente parece ser no sítio em estudo um dos nutrientes de maior limitação à produtividade.

A adubação mineral no momento do plantio para garantir um rápido crescimento inicial, assim como a adubação de manutenção entre 24 e 36 meses de idade, quando as árvores começam a apresentar uma diminuição na taxa de crescimento e nos teores de nutrientes nas folhas, são estratégias para manter a produtividade dos plantios, que apresentam uma boa resposta desde que bem planejada. Por sua vez, a aplicação de resíduos orgânicos, como o do lixo urbano, pode contribuir significativamente para a melhoria da estrutura do solo aumentando a retenção de água e para a absorção de nutrientes pelas árvores. Além destes, outros procedimentos são necessários para manter ou elevar a produtividade, principalmente nos sítios mais pobres.

Do ponto de vista do manejo sustentável dos recursos florestais, a retenção de nutrientes no sítio e a proteção da estrutura do solo, são requisitos para garantir a

fertilidade e a produtividade do solo nos plantios futuros (JONES *et al.*, 1999).

Segundo GONÇALVES *et al.* (2000b), quanto mais intensos a exportação de nutrientes e os danos ambientais pela colheita e reforma do plantio, maior o potencial de comprometimento da sustentabilidade da produtividade florestal, sobretudo nos ecossistemas com solos de baixa fertilidade e limitação hídrica.

Diversos autores recomendam manter no sítio florestal, quando da exploração da madeira, folhas, galhos e casca das árvores, visando o estoque remanescente de nutrientes, principalmente para P e K (POGGIANI; COUTO; SUITER FILHO, 1983; TURNER; LAMBERT, 1983; PANDE; TANDON; SHANKER, 1987).

Pesquisas mais recentes sugerem além da remoção somente da madeira quando da exploração de espécies florestais, o manejo da matéria orgânica do solo sem queimar os resíduos e a utilização de equipamentos florestais que produzam menores compactações no solo, racionalizando as movimentações das máquinas no terreno (BOUILLET *et al.*, 2000; GONÇALVES *et al.*, 2000a; LACLAU *et al.*, 2000).

Em solos férteis na Austrália, plantados com *E. globulus* Labill, a remoção da serapilheira e de todos os resíduos do sítio, na exploração florestal da primeira rotação, não afetaram o crescimento das árvores, aos quatro anos de idade, na segunda rotação. Entretanto, após várias rotações, qualquer prática de manejo que afete o estoque de nutrientes do sítio, poderá comprometer a produtividade dos plantios (O'CONNELL *et al.*, 2000).

GONÇALVES *et al.* (2000b), avaliando a deposição e decomposição da serapilheira dos sete aos oito anos de idade do *E. grandis*, constataram que após seis meses do corte raso da floresta, a quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo reduziu rapidamente de 24 para 16 ton/ha, devido ou à interrupção da deposição de folhas e galhos, ou devido ao aumento da decomposição da serapilheira, provocado pela maior exposição

dos resíduos à radiação solar, que provoca aumento da temperatura média dos resíduos. Este resultado evidencia ainda mais a importância da utilização, o quanto antes, deste estoque de nutrientes no sítio, na próxima rotação, evitando possíveis perdas no ecossistema.

LIMA (1993) recomenda que a avaliação da quantidade de nutrientes exportados do sítio deve incluir a concentração de nutrientes dentro de vários componentes da biomassa, o grau de utilização da biomassa (árvore inteira, só o tronco, etc.), o período de rotação, a taxa de produção de biomassa, as perdas indiretas envolvidas no esquema de manejo da plantação, tais como a remoção da serapilheira, queimadas, erosão, entre outras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição geral da área do ensaio

O experimento foi elaborado e instalado pela Companhia Suzano de Papel e Celulose, que realizou o plantio do *E. grandis* em dezembro de 1991, na Fazenda Ariona, município de Itatinga, estado de São Paulo, Brasil (Figura 1).

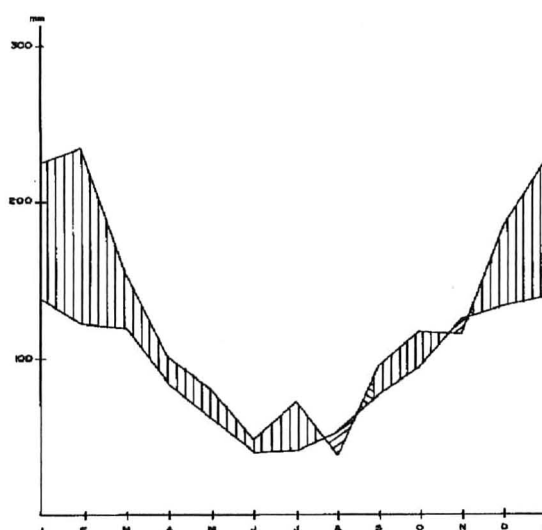
FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ITATINGA-SP, BRASIL.



A região está localizada a $23^{\circ} 15' S$ de latitude, $48^{\circ} 28'$ de longitude oeste com uma altitude entre 650 e 700 m s.n.m. O clima, com base em Koppen, é o Cfa, mesotérmico úmido, com uma precipitação média anual de 1200 à 1300 mm, concentrada no período de outubro a março e sem déficit hídrico, apresentando uma temperatura média variando de 22 a $23^{\circ} C$ no mês mais quente do ano (janeiro) e de 15 a $16^{\circ} C$ no mês mais frio (julho). Na Figura 2 encontra-se o balanço hídrico, calculado por QUADROS (1996), com os

dados meteorológicos desta região, de 1975 a 1986. Apesar de o balanço hídrico não indicar déficit hídrico para a região, considerando os plantios florestais em solos de textura arenosa, este pode ocorrer, principalmente nos meses de menor precipitação (junho a agosto).

FIGURA 2. BALANÇO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE ITATINGA-SP.



Legenda



Fonte: QUADROS (1996)

A geologia de origem é da era Mesozóica do período Triássico/Jurássico de formação Pirambóia, com uma vegetação, anterior ao reflorestamento, de Savana Arbórea Aberta (Cerrado) em solos provenientes de arenitos, filitos, siltitos, etc. (QUADROS, 1996).

No mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA *et al.*, 1999) indica para a região o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (RQ3). Sendo confirmado pelo pesquisador e pedólogo da Embrapa Florestas, Itamar Antônio Bognola, no local de estudo, segundo a classificação Brasileira de solos atual (EMBRAPA, 1999), como

NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, fase cerrado. Este solo é profundo, bem drenado, com textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos uma profundidade de 2 metros da superfície. As frações areia grossa e areia fina desse solo são essencialmente constituídas de quartzo, sendo por conseguinte, virtualmente ausente de minerais primários facilmente intemperizáveis.

Nesse solo o perfil é de extrema simplicidade, limitando-se a diferenciação à expressão de um horizonte “A” mais rico em matéria orgânica do que os horizontes subjacentes “C”, o que é denotado pela cor mais escura superficialmente.

Devido à constituição essencialmente quartzosa, esse solo é pobre em nutrientes para as plantas, além de serem ácidos, com baixa capacidade de retenção de cátions e de água. Suas sérias limitações restringem o seu uso para a agricultura, tornando-o mais adequado ao reflorestamento.

Através de tradagens no local do ensaio, pode-se observar um horizonte Ap com 20 cm de profundidade e cor úmida Munsell definida como bruno-oliváceo claro (2,5Y 5/4) e horizontes C, subsequentes, quais sejam: C₁ com uma profundidade de 20 a 50 cm e cor úmida Munsell 2,5Y 6/4, denominado também bruno-oliváceo claro; C₂ com 50 a 110 cm e cor úmida Munsell de 10YR 5,5/6, bruno amarelada; e horizonte C₃ com 110 a 200 cm⁺ e cor 8YR 5/7, cor úmida Munsell denominada bruno forte e bruno amarelada e teores de argila em torno de 10 %, ao longo destes subhorizontes C.

O relevo local é plano a suave ondulado com pendentes de 2 a 4 % de declive e comprimento de rampa de mais de 200 m. A altitude do local é de 640 m.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas características químicas deste solo antes da instalação do ensaio.

TABELA 1. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO NA ÁREA DO EXPERIMENTO.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	MO %	P mg/dm ³	K	Ca	Mg cmolc ⁽⁺⁾ /dm ³	Al	H+Al	V %
0-10	3,3	2,2	6	0,02	0,1	0,1	2,0	6,4	3
10-20	3,5	1,5	6	0,02	0,1	0,1	2,5	4,2	5
20-30	3,5	1,4	3	0,02	0,1	0,1	1,2	3,8	5

3.2 Detalhamento experimental utilizado

As parcelas foram localizadas em área de solo homogêneo com relevo plano, sendo retangulares (8x7 plantas), totalizando 56 plantas por parcela com bordadura dupla (12 mensuráveis) e espaçamento entre árvores de 3,0 x 2,0m. Na Figura 3 observa-se uma vista parcial da área experimental 66 meses após o plantio. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 7 blocos e 4 tratamentos detalhados a seguir (quantidades em kg/ha no plantio):

Tratamento 1. 130 de Fosfato Parcialmente Solubilizado (FAPS) e 148 NPK(10-20-10) no sulco e 146 NPK(10-20-10) em cobertura (**adubação química 1 = Aq1**).

Tratamento 2. 1500 calcário + 400 Termofosfato + 300 NPK(10-10-10) + 200 NPK(20-00-15) à lanço, em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente (**calcário + adubação química 2 = Aq2**).

Tratamento 3. 15000 de lixo urbano orgânico compostado + 400 Termofosfato + 300 NPK(10-10-10) + 200 NPK(20-00-15) à lanço, em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente (**lixo + Aq 2**).

Tratamento 4. 400 Termofosfato + 300 NPK(10-10-10) + 200 NPK(20-00-15) em faixa, no sulco e em cobertura, respectivamente (**Aq 2 = testemunha**).

O composto orgânico utilizado foi proveniente da Usina de Compostagem de Lixo Urbano da cidade de São Paulo. Trata-se de um resíduo orgânico em processo de compostagem, que necessita de uma maturação complementar no pátio da fazenda (cura completa), antes de seu uso como fertilizante. Desta forma, os dados apresentados na Tabela 2, se referem a valores médios do lixo urbano orgânico não totalmente compostado,

ou também denominado de parcialmente curado, ± 60 dias de cura (ZEN *et al.*, 1994).

FIGURA 3. VISTA PARCIAL DA ÁREA EXPERIMENTAL 66 MESES APÓS O PLANTIO.



TABELA 2. CARACTERÍSTICAS DO LIXO ORGÂNICO URBANO PARCIALMENTE COMPOSTADO (ADAPTADO DE ZEN *et al.*, 1994).

Parâmetros medidos	Composição média
pH	8,0
Cinza (g/kg)	457
Teor de umidade (g/kg)	350
Matéria orgânica (g/kg)	530
Carbono (g/kg)	225
N (g/kg)	18
Relação C/N	12,5
P (g/kg)	2,4
K (g/kg)	8,9
Ca (g/kg)	21
Mg (g/kg)	2,9
S (g/kg)	3,3

Assim sendo, pela análise química do lixo urbano orgânico compostado (Tabela 2), a aplicação de 15 ton/ha na parcela experimental incorporou ao solo 270 kg/ha de N, 36 kg/ha de P, 133 kg/ha de K, 315 kg/ha de Ca e 43 kg/ha de Mg.

Em 11/03/94 foi realizada uma adubação de manutenção para corrigir os teores foliares de K e Mg. As quantidades de fertilizantes (K e Mg) foram calculadas com base nos dados de análise foliar e biomassa total das árvores obtidos aos 24 meses. Esta adubação de manutenção não foi realizada nas parcelas do tratamento 1 (Aq 1). Desta forma as parcelas dos tratamentos 2, 3 e 4 receberam as seguintes dosagens de fertilizantes: 120 kg/ha de NPK 20-00-20 + 40 kg/ha de KCl + 150 kg/ha de MgSO₄

Deste modo, os solos dos tratamentos receberam por hectare, segundo a composição química dos fertilizantes e do resíduo utilizados as seguintes quantidades totais de nutrientes:

Tratamento1– 29,4 kg de N, 39,2 kg de P, 24,4 kg de K; Tratamento2– 94 kg de N, 46,3 kg de P, 69,7 kg de K, 343 kg de Ca e 163 kg de Mg. Tratamento3– 340 kg de N, 82,3 kg de P, 182,8 kg de K, 315 kg de Ca e 43 kg de Mg; e Tratamento4– 94 kg de N, 46,3 kg de P, 69,7 kg de K.

3.3 Avaliação da decomposição da serapilheira

A velocidade de decomposição da serapilheira de folhas e galhos foi avaliada quando as árvores de *E. grandis* encontravam-se entre os 32 e 54 meses de idade, nos quatro tratamentos e em três blocos do ensaio.

Para esta avaliação foram preparadas amostras de serapilheira com cerca de 25 g de biomassa seca estimada de folhas e de 40 g para galhos, coletadas e distribuídas no interior das parcelas de cada tratamento e suas repetições. As amostras foram acondicionadas em embalagens de tela plástica de malha fina, com 1,5 mm de diâmetro, e depositadas na superfície do solo. As amostras foram retiradas do campo em intervalos de tempo variados durante um período de 12 meses para folhas e de 20 meses para galhos. No laboratório de análise de solo e de tecido vegetal da Embrapa-Florestas, as amostras foram secas e pesadas para a obtenção dos dados de perda de biomassa para cada período de permanência no campo.

A análise dos dados baseou-se na utilização de um modelo exponencial negativo, $Y = Y_0 e^{-kt}$, em que o valor de k representa a taxa de decomposição da serapilheira no tempo t expresso em anos, Y_0 e Y são as quantidades de serapilheira no início do ensaio e no tempo t , respectivamente (OLSON, 1963).

3.4 Avaliação da contribuição da água de chuva na entrada de nutrientes

Entre as idades de 30 a 60 meses do plantio de *E. grandis* foram avaliados em todos os tratamentos, com três repetições, os volumes e os nutrientes contidos na água de precipitação total (PT) e na precipitação efetiva (PE), após a passagem da água de chuva pelo dossel arbóreo, ou seja, precipitação interna (PI) e escoamento pelo tronco (ET) nas parcelas experimentais.

A precipitação total (PT) foi coletada em pluviômetro instalado em área aberta (sem vegetação), próximo às parcelas experimentais. Para avaliação da precipitação efetiva ($PE = PI + ET$) foram instalados quatro coletores fixos, com área de captação de 201 cm^2 , embaixo das copas (PI), e dois recipientes de 5 litros colocados ao redor do tronco de duas árvores para a coleta da água de escoamento (ET), em cada parcela (tratamento/repetição). Em uma das repetições foi instalado um recipiente de 50 litros, por tratamento, sendo este volume, suficiente para a quantificação da água de escoamento pelo tronco da árvore, para eventos individuais de chuvas até 120 mm (Figuras 4, 5, 6 e 7).

Com os dados obtidos efetuaram-se análises de regressão linear entre a precipitação total (variável independente) e a precipitação interna (variável dependente), para cada tratamento, aplicando-se um teste estatístico de comparação entre as equações geradas. O mesmo procedimento foi feito também para o escoamento pelo tronco.

FIGURA 4. PLUVIÔMETRO INSTALADO A CÉU ABERTO (SEM VEGETAÇÃO).



FIGURA 5. COLETOR DA ÁGUA DE PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI), COM DETALHE DA TELA DE PROTEÇÃO.



FIGURA 6. RECIPIENTE PARA COLETA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) PARA ANÁLISE QUÍMICA.



FIGURA 7. RECIPIENTE PARA COLETA E QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET).



Parte da água coletada pelos recipientes imediatamente após cada chuva, foi armazenada em geladeira para uma posterior preparação de uma amostra composta mensal de PT, PI e ET. Levou-se em consideração nestas misturas, a retirada de quantidades proporcionais de cada chuva isolada com relação ao total do mês. Mensalmente, as mostras foram encaminhadas ao laboratório do Departamento de Ciências Florestais/ESALQ/USP para análise dos nutrientes: N, P, K, Ca e Mg. Para o N, o procedimento foi a digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl e para os demais nutrientes pela digestão nitroperclórica. O P foi determinado pelo método do azul de molibdênio com o colorímetro fotoelétrico e o K, Ca e Mg utilizando o espectrofotômetro de absorção atômica.

Para avaliar o fluxo de nutrientes pela água da chuva, foram consideradas as concentrações na água de precipitação interna e de escoamento pelo tronco, média mensal de nutrientes por tratamento em cada um destes processos (PI e ET), sendo estes valores multiplicados respectivamente pelas quantidades de precipitação interna e de escoamento pelo tronco, referentes as chuvas de cada mês do período avaliado.

Para uma estimativa da entrada de nutrientes pela chuva durante os 86 meses do ensaio, foram considerados para o período em que não houve avaliações, a precipitação média anual da região de 1468 mm QUADROS (1996), a entrada média de nutrientes pela chuva no período avaliado e os valores médios de volume e de concentração de nutrientes da chuva interna e do escoamento pelo tronco no período avaliado, que serviu como uma média entre o início do plantio, que tem menor volume de copa e cobertura do solo, e, portanto, uma menor interceptação da água de chuva, e a época do corte com uma cobertura total do solo e onde a interceptação é maior.

3.5 Avaliação do solo aos 86 meses do plantio

Para as avaliações das características físicas e químicas do solo, foram coletadas amostras em diferentes profundidades, por tratamento, nos blocos 1, 4 e 7, aos 86 meses de idade. Para a análise química, as amostras foram coletadas, em cinco pontos aleatórios na área útil da parcela, nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm, formando amostras compostas por profundidade. Estas amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm (TFSA), com exceção das análises de N, onde foi usada malha 0,2 mm, e analisadas para pH, K, Ca, Mg, Al, H + Al, MO e P no laboratório de análise de solo e de tecido vegetal da Embrapa-Florestas.

O P assimilável e o K trocável foram extraídos com HCl 1N, conforme descrito por BLOISE, MOREIRA e DYNIA (1979). A acidez potencial foi determinada através de solução tampão SMP, conforme descrição de RAIJ e QUAGGIO (1983).

As análises físicas do solo seguiram a metodologia contida no manual de métodos e análises de solo (EMBRAPA, 1997). As amostras foram retiradas com anel de metal, com 68 cm³ de volume médio, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm. No campo, e se necessário também no laboratório, o excesso de solo foi eliminado cuidadosamente com auxílio de uma espátula, a fim de que o solo ocupasse exatamente o volume do cilindro. Em seguida, o anel foi saturado com água e submetido a diferentes pressões, utilizando nas inferiores (3 e 6 kPa) a mesa de tensão e nas tensões de 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa, a panela de pressão, retirando-se a água das amostras e pesando-as, sucessivamente, até a última tensão. Após esta etapa, a amostra foi novamente pesada e colocada em estufa para a secagem completa.

Através desse procedimento, a umidade do solo, com base em volume nas diferentes tensões, foi obtida pela relação entre o volume de água existente na amostra, após submetê-la

a uma determinada tensão, pelo volume total da amostra. Determinou-se também, a massa específica das partículas do solo (ρ_p), utilizando o método do volume deslocado de álcool por 20 g de solo seco e a massa específica do solo seco (ρ_{ss}) obtida dividindo-se o peso do solo seco pelo volume do anel. A porosidade total (α) foi calculada pela seguinte equação: $\alpha = 1 - (\rho_{ss} / \rho_p)$.

A macroporosidade é a diferença entre a porosidade total e a umidade com base em volume existente no solo sob a tensão de 6 kPa (tensão mais adequada por se tratar de um solo bastante arenoso).

Após a confecção da curva de retenção de água no solo, aplicaram-se equações de regressão. As análises dos coeficientes angulares destas equações permitem inferir que quanto maior o coeficiente angular, existe mais água disponível no solo para as plantas entre as tensões de 6 kPa e 1500 kPa, ou seja maior é a diferença entre o conteúdos d'água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Neste caso, trabalhou-se com 6 kPa como umidade na capacidade de campo, porque o solo é de textura arenosa e possui mais do que 10% de porosidade de aeração sob esta tensão.

Por último, aplicou-se uma análise de Correlação de Pearson entre o DAP médio das árvores aos 86 meses de idade, nas parcelas onde foram coletadas as amostras indeformadas, e a água disponível no solo nestas parcelas na profundidade de 0 a 10 cm, obtida da sua curva de retenção de água, entre as tensões de 6kPa e 1500 kPa.

3.6 Avaliação do estoque de biomassa e de nutrientes da serapilheira

Uma coleta final de serapilheira foi realizada nas parcelas dos tratamentos em 29/03/99, em três blocos do experimento quando o povoamento encontrava-se com 86 meses de idade. Nesta coleta foram retiradas duas amostras por parcela, através de arremessos sobre o solo, com direções aleatórias, de uma armação com 1,0 m², seguindo-se da coleta

separada de folhas, galhos e casca e em dois estágios de decomposição ou horizontes orgânicos. O 1º em que estes materiais não apresentavam descoloração significativa e nem perdas de material (liter novo = Ln); e o 2º, em que estas características já eram percebidas além da presença de material vegetal particulado e de raízes finas de eucalipto (liter velho = Lv).

Em cada parcela foram feitas 12 amostragens para se estimar a quantidade e a composição de nutrientes presentes na serapilheira antes do corte total das árvores, no final da primeira rotação. Para a análise quantitativa, estes materiais das duas amostras foram secos até um peso constante, utilizando-se um peso médio por parcela para estimar a deposição, em kg/ha, após a determinação da biomassa seca de cada material por m². Para a avaliação qualitativa, foram misturadas as duas amostras iniciais da parcela separando uma nova amostra de folhas, de casca e de galhos por parcela para cada um dos três blocos avaliados.

No laboratório de análise de solo e de tecido vegetal da Embrapa-Florestas as amostras de serapilheiras foram secas, pesadas, moídas e analisadas quimicamente para: N, P, K, Ca e Mg. Para a determinação dos teores de P, K, Ca e Mg as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica. O P foi determinado pelo método molibdato-vadano de amônio, o K por fotometria de chama, e Ca e Mg por absorção atômica. Para o N foi realizada a digestão sulfúrica, seguida de determinação pelo método Micro Kjeldahl. Estes procedimentos estão de acordo com a metodologia proposta por SARRUGE e HAAG (1974).

Os dados de biomassa de serapilheira foram submetidos a análises de variância realizando-se o teste F de contraste para a comparação de tratamentos. Foram estabelecidos três contrastes: contraste nº. 1 - tratamentos 2, 3 e 4 (todos que receberam adubação química 2 – Aq2) contra o tratamento 1 (adubação química 1 – Aq1), contraste nº 2 – tratamento 2

(calcário +Aq2) e o tratamento 3 (lixo compostado +Aq2) contra o tratamento 4 (Aq2) e contraste nº 3 – tratamento 2 contra o tratamento 3.

3.7 Avaliação dendrométrica e amostragem de madeira para a estimativa da biomassa e dos nutrientes da árvore

Ao final do experimento, com 86 meses de idade, foram feitas medições de diâmetro a 1,30 m da base (DAP) e altura total das árvores mensuráveis das parcelas nos sete blocos do ensaio para os cálculos de volume cilíndrico arbóreo (volume cilíndrico = $\pi/4 \times (\text{DAP})^2 \times$ altura total). Realizou-se uma análise de variância e teste F de contrastes ortogonais para comparação de médias entre os tratamentos. Foram estabelecidos os mesmos contrastes citados no item 3.6.

Para a estimativa da quantidade de biomassa exportada (alburno e cerne) e da mantida no campo (casca, galhos e folhas), assim como os conteúdos de nutrientes nestes compartimentos, utilizou-se metodologia proposta por SILVA (1996), obtida em *E. grandis* nas mesmas condições deste ensaio (Tabelas 3 e 4).

Para efeito da aplicação desta metodologia na avaliação dos conteúdos de nutrientes nestes compartimentos arbóreos, foram derrubadas três árvores por parcela (tratamento) e em três blocos do ensaio, sendo uma dominada (DAP abaixo da média), outra codominante (DAP próximo da média) e dominante (DAP acima da média) e coletaram-se discos dos troncos destas árvores na base, 1,0 m, 1,3 m e a 2,0 m de altura do solo. Nestas amostras foram feitas medições com fita métrica dos diâmetros de cada disco, tanto com casca como sem casca e o diâmetro do cerne. A partir destes diâmetros, foi possível calcular os volumes com e sem casca, o volume do cerne de cada segmento, do tronco da árvore da base até os 2,0 m, através da seguinte fórmula:

$$V = 0,3927 \times (DAP_1^2 + DAP_2^2) \times h, \text{ onde:}$$

V = volume do segmento (m^3)

DAP_1 = diâmetro menor do segmento

DAP_2 = diâmetro maior do segmento

h = comprimento do segmento

Por diferença foram calculados os volumes de casca e do alburno.

Desses discos, foram separados a casca, o alburno e o cerne para a determinação das densidades básicas desses subcompartimentos, pelo método da balança hidrostática, segundo as normas da ABCP M14/70. O cerne e o alburno foram distinguidos utilizando-se o método adotado por SILVA (1996), que preconiza o contraste de coloração entre o cerne e o alburno. Foram ainda retiradas amostras por subcompartimento para a determinação dos teores de nutrientes minerais.

Foi realizada uma análise de correlação simples de Pearson entre os teores de nutrientes para casca, alburno e cerne dos discos de madeira das árvores dominada, codominante e dominante, com os respectivos volumes individuais de madeira destas árvores. Optou-se pelo volume porque o mesmo produziu melhores ajustes do que as variáveis DAP, altura de plantas e biomassa aérea total.

Para a estimativa de densidade de cada segmento utilizou-se a média das densidades, por subcompartimento, entre os discos das extremidades.

Os pesos de cada segmento foram obtidos multiplicando-se a densidade básica estimada do segmento pelo seu volume. A partir do peso do segmento, multiplicado pela média da concentração de cada nutriente nos discos, das extremidades do segmento, têm-se o conteúdo estimado dos macronutrientes para os três segmentos (base a 1,0m; 1,0m a 1,3m; e 1,3m a 2,0m) e utilizando modelos propostos por SILVA (1996), obtêm-se a estimativa do peso e do conteúdo de nutriente na árvore, por compartimento, através das equações das Tabelas 3 e 4. Para o cerne, o alburno e a casca o conteúdo do nutriente que entrou da

equação, refere-se aos seus próprios compartimentos, já para as folhas o conteúdo do nutriente que entrou na equação, refere-se ao conteúdo obtido na casca, e para os galhos refere-se ao conteúdo obtido no alburno.

Após a aplicação dessas equações, obtendo-se os conteúdos para a árvore dominante, codominante e dominada de cada parcela, determinou-se a frequência destas três classes na parcela para a estimativa do total de nutrientes por compartimento da parcela.

TABELA 3. EQUAÇÕES OBTIDAS, COM OS RESPECTIVOS COEFICIENTES, PARA DETERMINAÇÃO INDIRETA DE PESO SECO TOTAL (g) DE DIFERENTES COMPARTIMENTOS DE *E. grandis*.

Compartimentos / Equações	R ²
Peso Seco total (alburno) = $235,9570 \times \text{DAP}^2$	0,96
Peso Seco total (casca) = $37,7823 \times \text{DAP}^2$	0,99
Peso Seco total (tronco) = $442,6520 \times \text{DAP}^2$	0,97
Peso Seco total (cerne) = Peso tronco- (Peso alburno + Peso casca)	-
Peso Seco total (galhos) = $28,4492 \times \text{DAP}^2 - 107,2099 \times \text{HT}$	0,96
Peso Seco total (folhas) = $35,0359 \times \text{DAP}^2 - 134,8311 \times \text{HT}$	0,95

DAP = diâmetro a altura do peito (cm).

HT = altura total da árvore (m).

Fonte: SILVA (1996).

Para os dados de biomassa e para os conteúdos de nutrientes nos compartimentos da árvore, efetuaram-se análises de variância e testes F de contrastes ortogonais para a comparação de médias entre os tratamentos, utilizando os mesmos contrastes adotados para análise do volume de madeira.

A análise para teores de nutrientes e para conteúdo total de nutrientes na árvore foi a de correlação simples (PEARSON), através da correlação destes dados separadamente, com o volume arbóreo e com a biomassa aérea, respectivamente.

TABELA 4. EQUAÇÕES UTILIZADAS NA DETERMINAÇÃO INDIRETA DO CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES MINERAIS (g) PRESENTES NOS COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE DE *E. grandis*.

Compartimentos	Nutrientes	Equações *	R ²
alburno	Nitrogênio	$6,8581 \times N_{1,3m-2,0m} + 33,2438 \times N_{1m-1,3m}$	0,99
alburno	Fósforo	$27,2632 \times P_{base-1,0m} + 30,9341 \times P_{1,3m-2,0m}$	0,87
alburno	Potássio	$13,5624 \times K_{1m-1,3m}$	0,99
alburno	Cálcio	$15,3568 \times Ca_{1,3m-2,0m}$	0,98
alburno	Magnésio	$54,2122 \times Mg_{1,0m-1,3m}$	0,99
casca	Nitrogênio	$50,9402 \times N_{1,3m-2,0m}$	0,98
casca	Fósforo	$2,7638 \times N_{1,3m-2,0m} + 13,3973 \times N_{1m-1,3m}$	0,98
casca	Potássio	$6,4473 \times N_{1,3m-2,0m} + 31,2538 \times N_{1m-1,3m}$	0,95
casca	Cálcio	$4,9205 \times Ca_{1m-1,3m} + 18,0455 \times Ca_{1,3m-2,0m}$	0,98
casca	Magnésio	$48,0414 \times Mg_{1,3m-2,0m}$	0,97
cerne	Nitrogênio	$35,5006 \times N_{1,3m-2,0m}$	0,99
cerne	Fósforo	$35,1882 \times P_{1,3m-2,0m}$	0,99
cerne	Potássio	$-2,7928 \times K_{base-1,0m} + 48,7976 \times K_{1,0m-1,3m}$	0,99
cerne	Cálcio	$36,0385 \times Ca_{1,3m-2,0m}$	0,99
cerne	Magnésio	$35,7885 \times Mg_{1,3m-2,0m}$	0,99
folhas **	Nitrogênio	$160,6768 \times N_{1,3m-2,0m}$	0,97
folhas **	Fósforo	$12,6935 \times N_{1,3m-2,0m}$	0,96
folhas **	Potássio	$45,1020 \times N_{1,3m-2,0m}$	0,97
folhas **	Cálcio	$39,3015 \times N_{1,3m-2,0m}$	0,96
folhas **	Magnésio	$6,8551 \times N_{1,3m-2,0m}$	0,83
galhos ***	Nitrogênio	$9,0651 \times K_{1,0m-1,3m} + 16,6053 \times Ca_{1,0m-1,3m}$	0,97
galhos ***	Fósforo	$1,8309 \times K_{1,0m-1,3m} + 3,4909 \times Ca_{1,0m-1,3m}$	0,92
galhos ***	Potássio	$7,2184 \times K_{1,0m-1,3m} + 12,5143 \times Ca_{1,0m-1,3m}$	0,98
galhos ***	Cálcio	$9,9073 \times K_{1,0m-1,3m} + 18,8904 \times Ca_{1,0m-1,3m}$	0,94
galhos ***	Magnésio	$2,5334 \times K_{1,0m-1,3m} + 4,8304 \times Ca_{1,0m-1,3m}$	0,98

* $N_{1,3m-2,0m}$ = conteúdo de N no segmento do tronco de 1,3 m a 2,0 m;

** para as folhas o conteúdo de nutrientes da equação refere-se ao obtido na casca;

*** para os galhos o conteúdo de nutrientes da equação refere-se ao obtido no alburno.

Fonte: adaptado de SILVA (1996).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeitos da aplicação de lixo urbano orgânico compostado sobre o volume de madeira de *E. grandis* aos 86 meses de idade

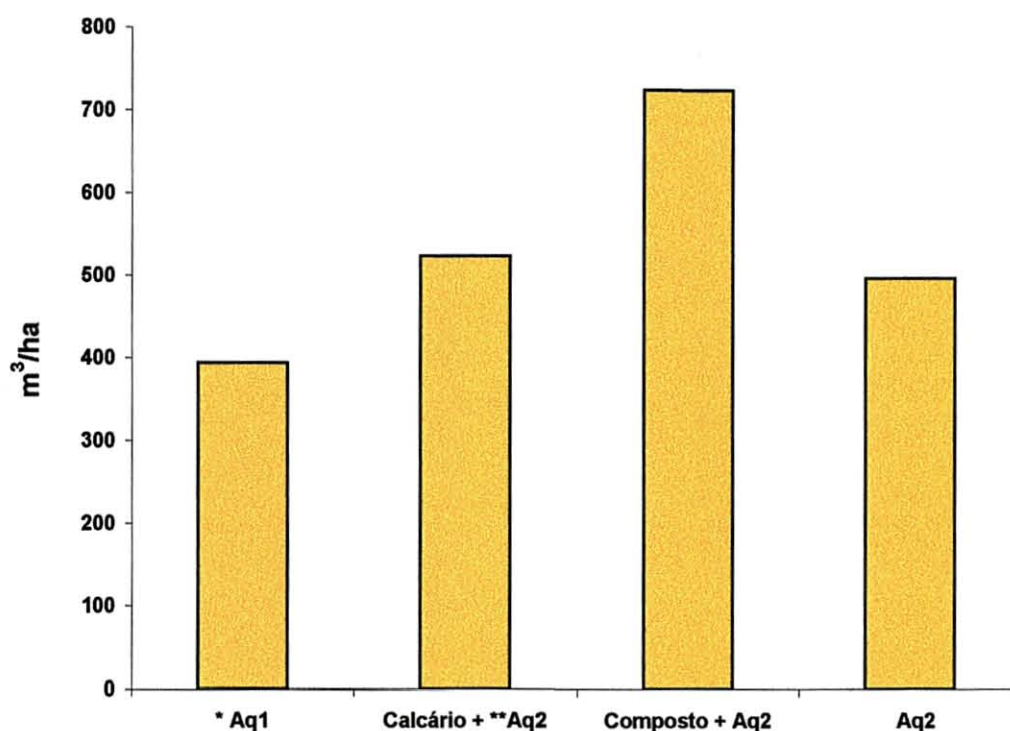
Decorridos 86 meses da adubação mineral no plantio e da aplicação do lixo urbano compostado e 60 meses da adubação mineral de manutenção nas parcelas de *E. grandis*, obteve-se os dados de volume cilíndrico de madeira, por tratamento e repetição, por meio das medições de altura total e DAP (diâmetro à altura do peito) das árvores, na idade do corte, os quais estão apresentados na Tabela 5, sendo os valores médios por tratamento mostrados na Figura 8.

TABELA 5. VOLUME CILÍNDRICO DE MADEIRA EM m³/ha, POR TRATAMENTO E POR BLOCO, NA IDADE DO CORTE (86 MESES).

Trat.*	Volume cilíndrico de madeira (m ³ /ha) / bloco							Média
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
1	325,26	373,76	400,66	436,76	435,13	393,21	389,94	393,53
2	344,90	656,22	611,59	626,11	512,86	434,15	476,78	523,23
3	641,49	908,42	774,91	742,79	578,76	754,92	665,37	723,81
4	368,77	635,10	456,53	487,62	634,73	449,12	447,89	497,11

*trat 1 = adubação química 1; trat.2 = calcário + adubação química 2; trat.3 = lixo urbano + adubação química 2; trat.4 =adubação química 2.

FIGURA 8. VOLUME CILÍNDRICO MÉDIO DE MADEIRA EM m^3/ha , POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES).



* Aq1 = adubação química 1; ** Aq2 = Adubação química 2.

Para a análise de significância destes dados utilizou-se o teste F para a comparação de médias, por meio de contraste entre os tratamentos, os resultados são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS DADOS DE VOLUME DE MADEIRA EM m^3/ha E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	6	117801,60	19633,60	3,5640	0,01661
Tratamento	3	400644,82	133548,27	24,2426	0,00002
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	185261,9	185261,9	33,6300	0,00007
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	74571,8	74571,8	13,5368	0,00201
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	140811,2	140811,2	25,5610	0,00020
Resíduo	18	99158,90	5508,83		
Total	27	617605,32			

Média geral = $534,42 \text{ m}^3/\text{ha}$; coeficiente de variação = 13,9%.

Observa-se na Tabela 5 e na Figura 8 que o tratamento 3 destacou-se dos demais e a partir da análise de variância (Tabela 6) verificou-se que houve diferença estatística entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. O teste F para contrastes ortogonais, indicou

no 1º contraste que os tratamentos 2, 3 e 4, todos que receberam a adubação Aq2 (item 3.2), foram superiores em volume cilíndrico de madeira ao que recebeu adubação Aq1 (tratamento 1). No contraste seguinte, os tratamentos 2 (calcário + Aq2) e 3 (lixo compostado + Aq2), foram superiores ao tratamento 4 (Aq2) que não recebeu nem calcário nem lixo, e no último contraste, o tratamento 3 foi superior ao tratamento 2.

A produtividade obtida aos 86 meses de idade com a aplicação do lixo compostado + Aq2 (tratamento 3), foi em volume cilíndrico arbóreo de $101 \text{ m}^3 / \text{ha.ano}$ o que equivale, considerando um fator de forma de 0,5, a um volume real de madeira com casca de $50 \text{ m}^3 / \text{ha.ano}$, que está dentro da faixa citada por BELLOTE (1990), para plantios de *E. grandis* no estado de São Paulo em levantamento com empresas florestais há mais de dez anos, que utilizando o material genético e as tecnologias disponíveis naquela época produziam de $19 \text{ m}^3 / \text{ha.ano}$ a $72 \text{ m}^3 / \text{ha.ano}$ em diferentes sítios florestais.

Considerando ainda os tratamentos que receberam somente adubação química, os resultados de volume real de madeira com casca aos 86 meses são também elevados para o sítio em questão, variando de 27 a $36 \text{ m}^3 / \text{ha.ano}$, destacando-se a produtividade do *Eucalyptus* nas parcelas com adubação química 2 (Aq2), tratamentos 2 e 4, que foram superiores a adubação química 1 (Aq1) tratamento 1, em 33,0 e 26,3%, respectivamente. Ressalta-se que, além da adubação diferenciada entre Aq1 e Aq2, os tratamentos 2 e 4 (Aq2) tiveram a adubação de manutenção aos 27 meses de idade, que não foi realizada no tratamento com Aq1.

Estes resultados confirmaram a eficiência do lixo orgânico urbano compostado no aumento da produção em plantios de *E. grandis* na região de Itatinga-SP, em Neossolo Quartzarênico Órtico.

Na Tabela 5, observa-se ainda pelo volume cilíndrico médio de madeira aos 86 meses de idade, por tratamento, que a adição de lixo urbano orgânico compostado e adubação

química (Aq2) propiciou um ganho de 45,6% (723,81 e 497,11 m³/ha) com relação ao tratamento 4 (Aq2) e de 83,9% (723,81 e 393,53 m³/ha) com relação ao tratamento 1 (Aq1). O efeito da calagem foi pequeno, já que o aumento de volume cilíndrico de madeira do tratamento 2 com relação ao tratamento 4 (Aq2) foi de apenas 5,2% (523,23 e 497,11 m³/ha).

Ganhos de produtividade em *E. grandis* com o uso de lixo urbano orgânico compostado em Neossolo Quartzarênico Órtico foram verificados por ZEN *et al.* (1994), que testando várias quantidades aplicadas no plantio, aos três anos de idade (manutenção) e na 2ª rotação (rebrotas), verificaram ganhos em volume cilíndrico de madeira, aos quatro anos de idade, de 30 a 164% em comparação à testemunha.

No entanto, PÉREZ *et al.* (1997), utilizando composto de lixo urbano proveniente da empresa COMLURB, da cidade do Rio de Janeiro, com características químicas similares ao composto deste ensaio (pH=8,0; teor de umidade 420 g/kg; carbono orgânico = 117,5 g/kg; N_{total} = 13,4 g/kg; P_{total} = 3,6 g/kg; K_{total} = 7,1 g/kg; Ca_{total} = 22,7 g/kg; Mg_{total} = 2,5 g/kg), verificaram que a sua aplicação não proporcionou diferenças estatísticas no crescimento do híbrido *E. "urograndis"*, após 16 meses do plantio, apesar de todos os tratamentos que receberam composto possuírem altura e diâmetro de plantas maiores que a testemunha. Os autores concluíram que este resultado pode estar relacionado à fertilidade elevada da camada superficial do solo (Cambissolo), não se observando uma diferenciação em altura e diâmetro neste estágio inicial de desenvolvimento das plantas.

Para se verificar a viabilidade econômica da aplicação de lixo urbano orgânico compostado em plantios florestais, o fator mais importante é a necessidade de transporte até o local de plantio, uma vez que o custo de sua aquisição freqüentemente é irrisório. O custo da aquisição do resíduo praticado quando do início deste trabalho, foi de R\$ 0,50 a tonelada ou R\$ 7,50 por ha. Para esta análise de viabilidade, seriam necessários os custos de

transporte (frete), de depósito e ou aplicação do resíduo na área planejada (incluindo os riscos de contaminação ambiental), assim como os benefícios do aumento na receita pelo ganho na produção (valor da madeira na época do corte) nas próximas rotações ou na reforma de um talhão. Por último, uma análise comparativa da produtividade de madeira com o uso de outras técnicas, como a fertilização mineral, ou a aplicação de outros resíduos, seriam importantes para a escolha da melhor opção econômica. Deve-se, entretanto, considerar a opção de disposição do lixo urbano nos plantios florestais e avaliar seu custo comparativo com outras opções de disposição do mesmo material, mesmo que não coberto totalmente pela opção florestal.

HENRY *et al.* (1997), reportando os resultados do uso de biosólidos (resíduos produzidos nas cidades após o tratamento de águas residuais) em sítios florestais, desde 1970, nos Estados Unidos, concluíram que os ganhos obtidos no crescimento das árvores sugerem que, dependendo do custo atual do transporte, existe um forte indicativo de que o crescimento adicional das árvores compensará ou excederá os custos da aplicação do biosólido. Contudo, LE TACON, BOUCHARD e GARBAYE (1988), avaliando o crescimento inicial de árvores de *Fraxinus excelsior* L. após a aplicação de 61 ton/ha de lodo de esgoto urbano, concluíram que os incrementos no crescimento desta espécie não foram suficientes para compensar os custos de transporte e aplicação do resíduo.

Outro fator a ser considerado no uso de lixo urbano orgânico compostado em reflorestamentos em grande escala, diz respeito que a aplicação deste resíduo não prejudique a uniformidade de plantios. As empresas florestais buscam aumento de produtividade e talhões uniformes que facilitem tanto as operações de corte e transporte de madeira como na utilização fabril. A utilização de material genético uniforme ou com pouca variabilidade, contribui para isto.

Devido o lixo urbano compostado não ser um produto de características homogêneas

com relação ao conteúdo de nutrientes e de ser aplicado nas condições de umidade natural, podendo variar as quantidades secas de composto por área, realizou-se uma análise de desvio padrão e coeficiente de variação para altura e DAP das árvores das parcelas aos 86 meses de idade, para avaliar a uniformidade do plantio dentro de cada tratamento. Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas entre as parcelas que receberam composto e as que receberam adubo mineral, sugerindo que os efeitos do composto no solo podem compensar possíveis fatores limitantes do sítio, proporcionando melhores condições de crescimento para todas as árvores.

4.2 Estimativa do estoque de nutrientes nas árvores aos 86 meses de idade

4.2.1 Estimativa de biomassa da parte aérea da árvore nos diferentes compartimentos

Com os dados de DAP e altura das árvores aos 86 meses de idade por tratamento e utilizando as equações propostas por SILVA (1996), apresentadas na Tabela 3 (item 3.7), foram obtidas as estimativas de biomassa aérea da árvore, com base na biomassa seca dos diferentes compartimentos (Tabela 7).

TABELA 7. BIOMASSA AÉREA POR COMPARTIMENTO ARBÓREO (ton/ha) POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE (86 MESES), MÉDIA DE SETE REPETIÇÕES.

Tratamento*	Casca	Alburno	Cerne	Galhos	Folhas	total
1	8,27	51,64	36,97	6,19	7,63	110,70
2	10,40	64,94	46,49	7,79	9,60	139,21
3	13,43	83,88	60,05	10,07	12,40	179,84
4	9,81	61,26	43,85	7,35	9,05	131,32
média	10,48	65,43	46,84	7,85	9,67	140,27

*trat 1 = adubação química 1; trat.2 = calcário + adubação química 2; trat.3 = lixo urbano + adubação química 2; trat.4 =adubação química 2.

Comparando os valores médios apresentados na Tabela 7 com os citados por GONÇALVES *et al.* (2000b), também para *E. grandis* aos 84 meses de idade, observou-se que os resultados foram semelhantes, principalmente para o total de biomassa aérea.

Verificou-se ainda, que os compartimentos que são retirados do sitio na colheita da madeira (alburno e cerne) correspondem em média a 80% da biomassa aérea total, restando 20% dos outros compartimentos que podem ser mantidos na área após a exploração.

Realizou-se a análise de variância dos dados de biomassa aérea total (Tabela 1 do anexo) e o teste F para a comparação de médias entre tratamentos, por meio de contraste, cujos resultados estão apresentados na Tabela 8.

TABELA 8. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS DADOS DE BIOMASSA AÉREA TOTAL EM m³/ha E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	6	4852,0	808,7	3,0906	0,02904
Tratamento	3	17649,0	5883,0	22,4840	0,00002
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	8159,35	8159,35	31,1839	0,00010
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	3712,25	3712,25	14,1877	0,00171
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	5777,38	5777,38	22,0804	0,00035
Resíduo	18	4709,74	261,65		
Total	27	27210,73			

Médias por tratamento em ton/ha: trat.1 = 110,70; trat.2 = 139,21; trat.3 = 179,84; trat.4 = 131,32.

Média geral = 140,3 ton/ha; coeficiente de variação = 11,5%.

Para os dados de biomassa aérea, verificou-se o mesmo ocorrido para o volume de madeira, onde todos os contrastes foram significativos, mantendo-se a superioridade (29 a 62%) do tratamento que recebeu lixo urbano orgânico compostado e adubação mineral em relação aos demais que somente receberam fertilização mineral. Considerando na Tabela 7 apenas a biomassa de madeira (cerne + alburno) o tratamento 3 (lixo compostado + Aq2) produziu 143,93 ton/ha e o tratamento 4 (testemunha) produziu 105,11 ton/ha, significando um ganho de 36,9% de madeira aos 86 meses de idade com a adição de 15 ton/ha de lixo urbano orgânico compostado.

4.2.2 Teores de nutrientes no tronco de *E. grandis* aos 86 meses de idade

Utilizaram-se os teores de nutrientes para casca, alburno e cerne, obtidos nos discos de madeira das árvores dominada, codominante e dominante nas parcelas experimentais, para uma análise de correlação com os respectivos volumes individuais de madeira das árvores, independente dos tratamentos (Tabela 9). Folhas e galhos não entraram nesta análise devido os seus nutrientes terem sido estimados pelos teores na casca e alburno, respectivamente, o que produziria resultados semelhantes.

TABELA 9. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIMPLES (r) ENTRE VOLUME ARBÓREO (m^3) E TEOR DE NUTRIENTES (g/kg) NOS COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE DE *E. grandis*, POR CLASSE DE DAP, NA IDADE DO CORTE (86 MESES).

Compart.	Classe de DAP *	Número de observações	Correlação entre volume e teor de nutrientes (r)				
			N	P	K	Ca	Mg
casca	1	48	-0,045	-0,106	0,018	0,332*	0,213
casca	2	48	0,224	0,223	0,135	0,419**	0,025
casca	3	48	0,364*	0,006	0,310*	0,184	0,335*
casca	total	144	0,040	-0,145	0,021	0,221**	0,082
alburno	1	48	-0,212	0,107	0,031	0,340*	0,093
alburno	2	48	-0,160	-0,183	0,636**	-0,115	-0,103
alburno	3	48	-0,109	-0,356*	0,507**	-0,332*	-0,321*
alburno	total	144	-0,113	-0,285**	0,206*	-0,247**	-0,226**
cerne	1	48	-0,488**	0,080	-0,401**	0,233	0,428**
cerne	2	48	0,130	-0,127	-0,489**	-0,130	-0,202
cerne	3	48	0,084	0,108	-0,308*	-0,023	0,014
cerne	total	144	-0,075	-0,048	-0,326**	-0,052	-0,171

* 1 = arv. dominada; 2 = codominante; 3 = dominante; total = as três classes reunidas; * $p < 0,05$;

** $p < 0,01$.

Observou-se nesta análise de correlação que, para o N e o P não houve significância na maioria dos compartimentos, demonstrando uma baixa relação entre os teores desses nutrientes nos diferentes compartimentos da madeira com o volume da árvore. No entanto, para o Mg, Ca e principalmente para o K, as correlações significativas foram mais frequentes. No caso do K, houve correlação do volume das árvores com os teores no cerne e no alburno, onde no cerne, as árvores de maiores volumes apresentaram menores teores de K (coeficiente

negativo) e no alburno ocorreu o inverso. Este fato sugere que o K foi deslocado para o alburno quando da formação do cerne. Para o Ca e o Mg observou-se uma correlação positiva dos teores na casca com o volume da árvore e uma correlação negativa para os teores no alburno, indicando que as árvores de maior volume possuem teores mais altos de Ca e Mg na casca e teores mais baixos no alburno. Essa situação pode acarretar um maior acúmulo de Ca e Mg na casca com o desenvolvimento da árvore.

As diferenças entre os teores dos nutrientes encontradas nas diversas partes da planta podem ser atribuídas a translocação destes dos tecidos velhos para os mais novos (SWITZER; NELSON, 1972) assim como ao acúmulo de nutrientes de acordo com as atividades fisiológicas próprias de cada compartimento e tecido da planta ao longo de seu desenvolvimento.

SILVA (1996) observou que o conteúdo de K no cerne aos 84 meses de idade foi menor do que no quinto ano apesar do aumento de biomassa verificado no período. Este autor também verificou uma diminuição no conteúdo de magnésio no tronco à medida que as árvores cresceram o que sugere a translocação interna destes nutrientes na árvore.

Uma outra possibilidade para os valores negativos de coeficiente de correlação poderia ser um efeito de diluição do nutriente provocado pelo maior volume de madeira.

A princípio, a análise de correlação apresentada na Tabela 9 indicou que os teores de nutrientes na madeira de *E. grandis*, em alguns casos, podem ter sido influenciados pelo volume da árvore, sem analisar isoladamente o efeito dos tratamentos. Contudo, a adubação mineral e a aplicação de lixo urbano orgânico compostado também influenciaram o volume de madeira das árvores e o tratamento que recebeu o lixo urbano compostado foi o que apresentou os maiores volumes individuais.

4.2.3 Conteúdos de nutrientes na biomassa aérea de *E. grandis* aos 86 meses de idade

Os conteúdos de nutrientes para a casca, folhas, galhos, alburno e cerne das árvores, obtidos pelas equações de SILVA (1996) e a biomassa dos compartimentos arbóreos aéreos, por tratamento, são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10. BIOMASSA (ton/ha) E CONTEÚDO DE NUTRIENTES (kg/ha) NOS COMPARTIMENTOS DA ÁRVORE POR TRATAMENTO NA IDADE DO CORTE (86 MESES). MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES.

Trat.	Compart.	Biomassa	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)
1	casca	8,12	53,46	10,13	23,63	67,96	31,90
2	casca	9,78	74,44	14,20	33,12	114,03	59,54
3	casca	12,72	76,04	14,30	33,36	129,25	48,97
4	casca	8,82	55,18	10,58	24,68	56,08	42,13
1	folhas	7,49	168,64	13,32	47,34	41,25	7,19
2	folhas	9,02	234,80	18,55	65,91	57,43	10,02
3	folhas	11,75	239,85	18,95	67,33	58,67	10,23
4	folhas	8,14	174,06	13,75	48,86	42,58	7,43
1	galhos	6,09	15,13	3,12	11,73	16,86	4,31
2	galhos	7,33	24,40	5,03	18,92	27,20	6,96
3	galhos	9,54	32,93	6,75	25,72	36,51	9,34
4	galhos	6,61	22,24	4,58	17,28	24,76	6,33
1	alburno	50,73	47,76	8,04	11,72	16,19	10,59
2	alburno	61,08	46,81	7,29	18,72	23,28	13,68
3	alburno	79,45	45,16	12,65	31,73	24,48	12,32
4	alburno	55,07	48,20	12,50	18,15	20,20	10,29
1	cerne	36,31	51,16	1,57	3,15	39,73	6,12
2	cerne	43,72	60,94	2,51	5,23	61,42	8,59
3	cerne	56,88	94,01	5,41	3,04	64,97	10,14
4	cerne	39,42	59,62	2,64	3,31	27,86	5,64

De acordo com a análise de variância (Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 do anexo) para os conteúdos dos diferentes nutrientes na casca das árvores, foi verificado um único nutriente com contraste significativo, que foi a superioridade dos conteúdos de Ca na casca das árvores dos tratamentos 3 (lixo) e 2 (calcário) em comparação com a testemunha com adubação química 2 (tratamento 4) de 130% (129,25 e 56,08) e 103% (114,03 e 56,08), respectivamente. Também com relação ao tratamento 1 (adubação química 1), esta superioridade foi constatada. Observou-se ainda na Tabela 10, comparando estas diferenças

entre conteúdos de Ca nestes tratamentos com as diferenças entre as suas biomassas de casca, que estas últimas foram menores, sendo a diferença do tratamento 3 com relação ao 1 e 4 de 44% e 54%, respectivamente, e do tratamento 2 com relação aos tratamentos 1 e 4 de 11% e 20%, respectivamente, comprovando a correlação positiva entre os teores de Ca na casca e o volume da árvore.

De acordo com SILVA (1983), as espécies de eucalipto são acumuladoras de Ca na casca, justificando assim os maiores conteúdos de Ca na casca das árvores nos tratamentos que apresentaram maior crescimento.

Os resultados da análise de variância para os conteúdos de nutrientes nas folhas das árvores, não foram significativos a 5% de probabilidade (Tabelas 7, 8, 9, 10 e 11 do anexo).

Os resultados semelhantes entre os nutrientes encontrados nas análises de variância deve-se ao fato da utilização de uma única variável com o mesmo valor para as equações de estimativa dos diferentes nutrientes (Tabela 4 do item 3.7).

O mesmo ocorreu para os galhos das árvores e os resultados estão sumarizados nas Tabelas 12, 13, 14, 15 e 16 do anexo. Para todos os nutrientes avaliados, o único contraste significativo foi o do tratamento 1 em comparação com os demais. Este tratamento teve uma adubação química diferenciada (Aq1) e só no plantio, produzindo os menores volumes cilíndricos e a menor biomassa arbórea, apresentando dessa forma conteúdos mais baixos de nutrientes nos galhos.

Nas Tabelas 17, 18, 19, 20 e 21 do anexo, são apresentadas as análises de variância para os conteúdos de nutrientes no alburno das árvores. Verificou-se contrastes significativos à 5% de probabilidade para P e Ca. O conteúdo de P no alburno das árvores que receberam lixo compostado (trat. 3) foi superior ao das árvores que receberam calcário ao invés do lixo. Porém, os conteúdos para os tratamentos 3 e 4 (testemunha) foram semelhantes, não demonstrando efeito do lixo compostado. Com relação ao Ca, repetiu-se o resultado

encontrado para os nutrientes dos galhos, ou seja, o tratamento 1 apresentou um conteúdo mais baixo do que os demais tratamentos.

Observaram-se diferenças significativas para os conteúdos de N, K e Ca no cerne das árvores (Tabelas 22, 24 e 25 do anexo). Para o P e Mg não foram verificadas diferenças significativas (Tabelas 23 e 26 do anexo).

Para os conteúdos de N no cerne, o tratamento 1 foi inferior aos demais ($p < 0,05$), com os resultados semelhantes dos outros compartimentos. Quanto ao tratamento 3 (lixo), este foi superior estatisticamente ($p < 0,01$) aos tratamentos 2 (calcário) e à testemunha (trat. 4), indicando uma provável influência da aplicação do lixo urbano orgânico compostado no aumento do conteúdo de N no cerne.

Verificou-se na Tabela 24 do anexo que o conteúdo de K no cerne das árvores do tratamento com calcário (2) diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) e foi superior ao conteúdo de K no tratamento com lixo (3). Isto sugere, do mesmo modo do que foi discutido para os teores deste elemento (Tabela 9), que o K do cerne pode estar sendo deslocado para o alburno quando da formação do cerne durante o crescimento das árvores. Pode-se verificar que as árvores do tratamento que receberam lixo orgânico compostado produziram no mínimo 30% a mais de biomassa do cerne (Tabela 10) do que as dos outros tratamentos, sugerindo uma maior translocação interna comparativamente às árvores de menor crescimento.

Por fim, observou-se na análise do conteúdo de Ca no cerne (Tabela 25 do anexo) que houve um contraste significativo dos tratamentos com lixo (3) e com calcário (2) em relação à testemunha (4), com maiores conteúdos nos dois primeiros em comparação com este último de 133% (64,97 e 27,86 ton/ha) 120% (61,42 e 27,86 ton/ha), respectivamente, sugerindo que estes dois tratamentos favoreceram o acúmulo do Ca no cerne das árvores.

Na Tabela 11 verifica-se o conteúdo total de nutrientes das árvores de *E. grandis*, por tratamento, aos 86 meses de idade, acompanhado das análises de correlação de cada nutriente com a biomassa aérea arbórea produzida.

TABELA 11. CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES (kg/ha) E CORRELAÇÃO COM BIOMASSA TOTAL AÉREA PRODUZIDA (ton/ha), POR TRATAMENTO, MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES, AOS 86 MESES DE IDADE.

Tratamento	Biomassa (ton/ha)	Nutrientes (kg/ha)				
		N	P	K	Ca	Mg
1	108,74	336,15	36,17	97,56	181,99	60,11
2	130,93	441,41	47,57	141,90	283,35	98,78
3	170,33	487,99	58,05	161,18	313,89	90,99
4	118,06	359,31	44,05	112,27	171,47	71,82
média	132,02	406,21	46,46	128,23	237,67	80,43
Correlação de Pearson (r)	-	0,770**	0,793**	0,763**	0,730**	0,582*
Nº de observações	12	12	12	12	12	12

** = $p < 0,01$; * = $p < 0,05$.

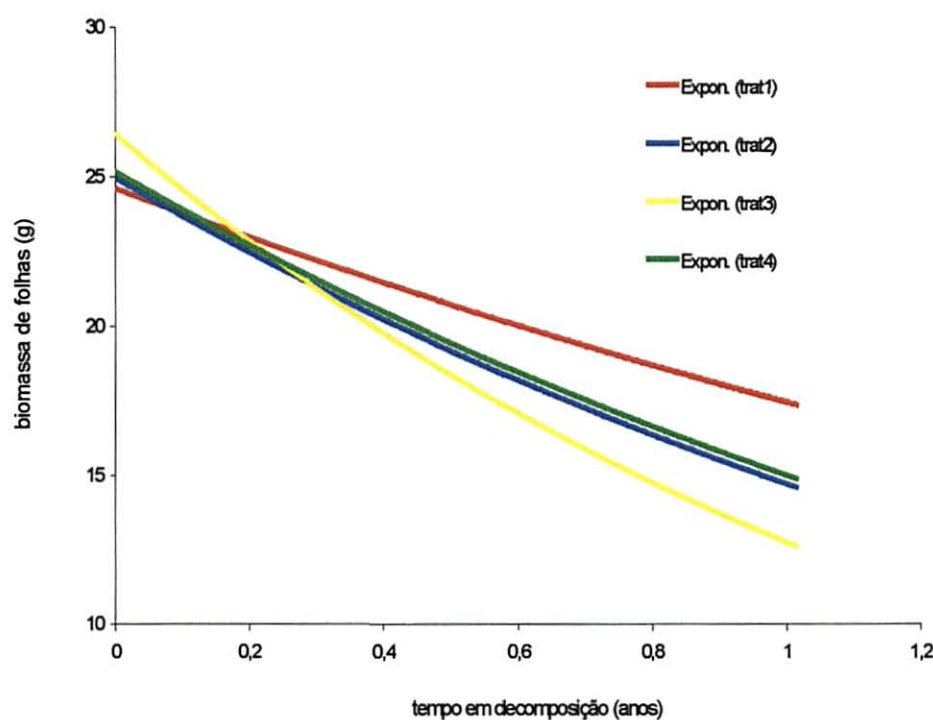
A partir destes dados verificou-se que as correlações foram significativas para o Mg ($p < 0,05$) e para os demais nutrientes ($p < 0,01$), indicando que nas condições em que o experimento foi conduzido, quanto maior a biomassa produzida, maiores os conteúdos de nutrientes na árvore por hectare aos 86 meses de idade. Além disto, verificou-se que o tratamento 3, com adubação química e aplicação do lixo urbano orgânico compostado, apresentou nesta análise de correlação as maiores biomassas em todas as repetições, demonstrando a superioridade com relação aos demais tratamentos (Tabela 27 do anexo).

Os valores médios, para a biomassa arbórea aérea e para o conteúdo de nutrientes obtidos nas parcelas deste ensaio que corresponde a um povoamento com 1666 árvores por hectare (Tabela 11), foram de um modo geral, similares aos citados por BELLOTE e SILVA (2000) e GONÇALVES *et al.* (2000b) para *E. grandis* aos 84 meses de idade.

4.3 Efeitos do lixo urbano compostado na decomposição da serapilheira em *E. grandis*

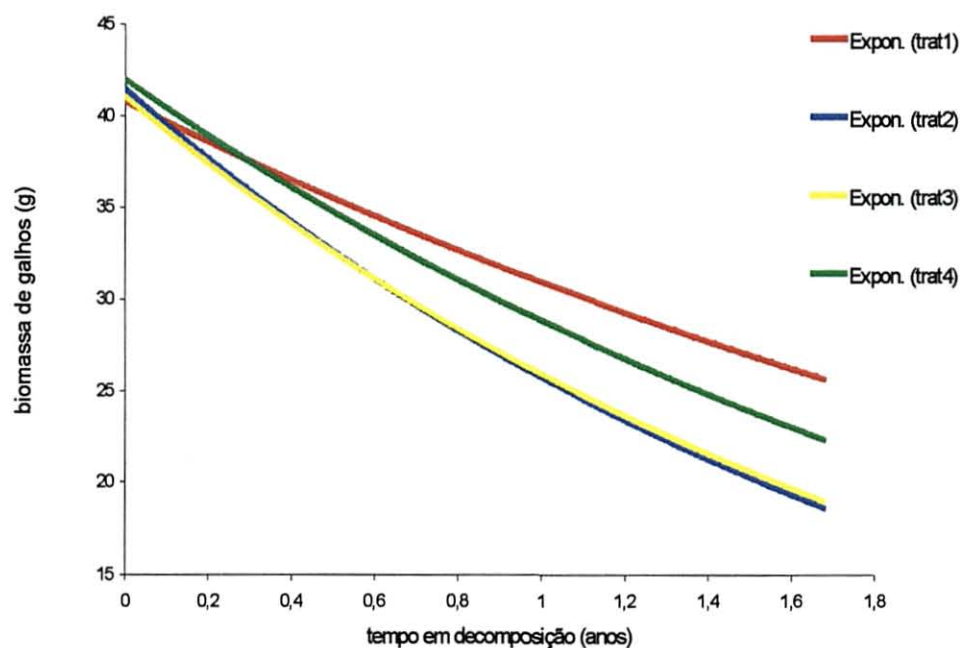
Avaliou-se a decomposição da serapilheira entre os 34 e 54 meses de idade e a influência da adição de lixo urbano orgânico compostado nesse processo (Tabelas 28 e 29 do anexo). Os resultados da decomposição expressa em perda de biomassa para folhas e para galhos, nos diferentes períodos de permanência no solo, são mostrados graficamente por equações exponenciais nas Figuras 9 e 10, respectivamente. Os ajustes do modelo exponencial, que representa a variação de peso das amostras de folhas e galhos, para cada tratamento, em função do tempo de permanência em decomposição no solo, são mostrados na Tabela 12.

FIGURA 9. DECOMPOSIÇÃO, EXPRESSA EM PERDA DE BIOMASSA, DE FOLHAS DE *E. grandis*, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DIFERENTES TEMPOS DE PERMANÊNCIA NO SOLO.



*trat 1 = adubação química 1; trat.2 = calcário + adubação química 2; trat.3 = lixo urbano + adubação química 2; trat.4 = adubação química 2.

FIGURA 10. DECOMPOSIÇÃO, EXPRESSA EM PERDA DE BIOMASSA, DE GALHOS DE *E. grandis*, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DIFERENTES TEMPOS DE PERMANÊNCIA NO SOLO.



*trat 1 = adubação química 1; trat.2 = calcário + adubação química 2; trat.3 = lixo urbano + adubação química 2; trat.4 =adubação química 2.

TABELA 12. COEFICIENTES ESTIMADOS PARA O MODELO EXPONENCIAL NEGATIVO, COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO E NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA QUE REPRESENTAM A DECOMPOSIÇÃO DE FOLHAS E GALHOS NOS DIVERSOS TRATAMENTOS.

Trat.	Coeficiente para folhas		Probab. p	Coeficiente para galhos		Probab. p
	k	R ²		k	R ²	
1	0,352 ± 0,085	0,729	< 0,01	0,266 ± 0,027	0,968	< 0,01
2	0,521 ± 0,109	0,795	< 0,01	0,439 ± 0,055	0,959	< 0,01
3	0,757 ± 0,047	0,979	< 0,01	0,465 ± 0,040	0,980	< 0,01
4	0,501 ± 0,071	0,895	< 0,01	0,356 ± 0,038	0,968	< 0,01

No modelo exponencial negativo, $Y = Y_0 e^{-kt}$, o valor de k representa a taxa de decomposição da serapilheira no tempo t expresso em anos, Y_0 e Y são as quantidades de

serapilheira inicial e no tempo t , respectivamente. O inverso de k corresponde ao tempo em anos necessário para a decomposição do material restante.

Os ajustes do modelo exponencial para a decomposição de folhas e galhos nas parcelas de *Eucalyptus grandis* apresentaram maior precisão no tratamento que além da adubação química recebeu o lixo urbano orgânico compostado. Este tratamento também apresentou as maiores taxas de decomposição (k), que resultaram em menores tempos para a decomposição do material restante, que foi de 1,32 anos para as folhas e 2,15 anos para galhos, enquanto que nos outros tratamentos, que somente receberam fertilizantes minerais, este tempo variou de 1,92 a 2,84 anos para folhas e de 2,28 a 3,76 anos para galhos, significando uma redução no tempo total para decomposição de todo o material, desde o início da avaliação, de 21% a 39% para as folhas e de 5% a 31% para os galhos.

Estes resultados foram menos expressivos do que os obtidos por FERREIRA *et al.* (1995) em Mogi-Guaçu (SP), onde a aplicação de resíduos de celulose em plantios de *E. grandis* foi pelo menos três vezes mais rápida do que o tratamento que recebeu apenas adubação mineral. Contudo, observou-se, que as 15 toneladas de lixo urbano aplicadas neste experimento influenciaram positivamente a taxa de decomposição da serapilheira, principalmente das folhas, durante o período de avaliação.

Pode-se concluir que a presença de lixo urbano favoreceu e acelerou a decomposição da serapilheira, contribuindo para aumento da disponibilidade de nutrientes no ecossistema florestal. Este favorecimento pode estar relacionado ao aumento da atividade microbiana do solo com a adição de lixo urbano compostado, como relatado por DIONÍSIO (1996) neste mesmo experimento e confirmado em análises microbiológicas de solos que receberam resíduo orgânico de lixo urbano (SORENSEN, 1975; RICE, 1979; PASCUAL; GARCIA; HERNANDEZ, 1999; PASCUAL *et al.*, 1997).

4.4 Avaliação da serapilheira em *E. grandis* aos 86 meses de idade

4.4.1 Biomassa de serapilheira acumulada na superfície do solo florestal

Na Tabela 13 encontram-se os dados de biomassa de serapilheira com base no peso seco, em ton/ha, separada em folhas, galhos e casca, coletadas em dois horizontes orgânicos no solo, por tratamento, na idade do corte do *E. grandis*, conforme descrito no item 3.3. Nas Tabelas 30, 31 e 32 do anexo estão relacionadas às análises de variância para cada componente da serapilheira estudado.

TABELA 13. BIOMASSA EM ton/ha, DE CASCA, FOLHAS E GALHOS PRESENTES NA SERAPILHEIRA, REMANESCENTE NO SOLO, POR TRATAMENTO, SEPARADA NA COLETA EM DOIS HORIZONTES ORGÂNICOS (Ln = LITER NOVO; Lv = LITER VELHO) NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES).

Tratamento	Casca (ton/ha)		Folhas (ton/ha)		Galhos (ton/ha)	
	Ln	Lv	Ln	Lv	Ln	Lv
1	1,61 a	0,26 a	2,98 a	6,61 a	6,42 a	1,66 a
2	1,73 a	0,18 a	2,61 a	6,94 a	7,72 a	1,87 a
3	2,48 a	0,30 a	2,94 a	6,97 a	8,86 a	2,13 a
4	2,10 a	0,21 a	2,69 a	7,16 a	7,05 a	1,66 a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância.

A comparação entre os horizontes orgânicos da serapilheira mostra que o liter velho (Lv) apresentou biomassa superior ao liter novo (Ln) para a folhas e inferiores para casca e galhos (Tabela 33 do anexo). No caso das folhas, onde a diferenciação e separação do material no ato da coleta, em Ln e Lv, foi mais fácil pelas características do material, esta quantidade maior no Lv pode ser atribuída à dificuldade de decomposição do material, gerando um acúmulo ao final do período de 86 meses.

Na Tabela 14 foram considerados os dois horizontes juntos (Ln + Lv) e, de acordo com as análises estatísticas (Tabelas 34, 35, 36 e 37 do anexo), manteve-se o resultado de F não significativo para os tratamentos. Tal resultado indica que aos 86 meses de idade a diferença de produtividade de madeira entre os tratamentos, principalmente do que recebeu o

lixo urbano orgânico compostado em comparação com os restantes, não resultou numa diferenciação da biomassa remanescente de serapilheira. Embora a deposição de serapilheira possa ter sido maior neste tratamento devido a sua maior biomassa, a decomposição mais rápida verificada em suas parcelas pode ter reduzido o acúmulo de matéria orgânica, justificando a não diferenciação estatística do tratamento de lixo urbano compostado com relação aos demais.

TABELA 14. BIOMASSA DE CASCA, FOLHAS E GALHOS DA SERAPILHEIRA E O SOMATÓRIO DESTES TRÊS, EM ton/ha, REMANESCENTE NO SOLO, POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DO *E. grandis* (86 MESES).

Tratamento	Casca (ton/ha)	Folhas (ton/ha)	Galhos (ton/ha)	Total (ton/ha)
1	1,87 a	9,59 a	8,08 a	19,54 a
2	1,91 a	9,54 a	9,59 a	21,05 a
3	2,77 a	9,91 a	10,99 a	23,67 a
4	2,32 a	9,86 a	8,70 a	20,88 a
Média				21,3

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância.

O total de biomassa de serapilheira de 21,3 ton/ha (média entre tratamentos) acumulado nas parcelas de *E. grandis* aos 86 meses de idade (Tabela 14) equivale a 15,2 % do total da biomassa aérea (Tabela 7, item 4.2.1). Estes valores foram similares aos relatados por GONÇALVES *et al.* (2000b) para *E. grandis* aos 84 meses de idade (23,7 ton/ha de biomassa de serapilheira correspondendo a 16,9 % do total da biomassa aérea).

4.4.2 Teores de nutrientes na serapilheira aos 86 meses de idade

Na Tabela 15 encontram-se os teores médios de nutrientes da serapilheira para casca, folhas e galhos nos dois horizontes orgânicos do solo, por tratamento, na idade do corte.

TABELA 15. TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES DA SERAPILHEIRA EM g/kg, POR TRATAMENTO, SEPARADA NA COLETA EM DOIS HORIZONTES ORGÂNICOS (Ln = LITER NOVO; Lv = LITER VELHO) NA IDADE DO CORTE DO *E. grandis* (86 MESES).

Tratamento	Horizonte	Serapilheira	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca(g/kg)	Mg(g/kg)
1	Ln	casca	3,36	0,25	0,28	5,62	1,15
2	Ln	casca	3,24	0,22	0,22	5,31	1,37
3	Ln	casca	3,59	0,22	0,28	5,42	1,18
4	Ln	casca	3,60	0,27	0,25	5,19	1,32
1	Ln	folhas	9,40	0,29	0,51	7,32	1,36
2	Ln	folhas	10,84	0,31	0,58	7,97	1,48
3	Ln	folhas	9,43	0,30	0,48	7,28	1,23
4	Ln	folhas	10,21	0,33	0,61	6,95	1,41
1	Ln	galhos	3,81	0,12	0,37	5,19	0,70
2	Ln	galhos	2,19	0,12	0,22	4,59	0,61
3	Ln	galhos	2,41	0,08	0,22	3,39	0,58
4	Ln	galhos	2,69	0,10	0,28	3,91	0,54
1	Lv	casca	5,62	0,29	0,35	7,72	1,33
2	Lv	casca	6,09	0,22	0,38	8,36	1,39
3	Lv	casca	6,57	0,38	0,38	9,00	1,36
4	Lv	casca	6,88	0,18	0,45	8,27	1,54
1	Lv	folhas	13,15	0,50	0,44	7,03	1,12
2	Lv	folhas	12,13	0,52	0,44	8,34	1,36
3	Lv	folhas	13,32	0,54	0,47	7,24	1,11
4	Lv	folhas	12,65	0,54	0,46	6,79	1,16
1	Lv	galhos	3,78	0,17	0,31	6,29	0,81
2	Lv	galhos	4,64	0,19	0,34	8,43	1,08
3	Lv	galhos	4,50	0,18	0,40	8,74	0,76
4	Lv	galhos	3,81	0,14	0,34	6,17	0,73

Aplicou-se a análise de variância considerando os horizontes orgânicos e os nutrientes N, P, K, Ca e Mg respectivamente nas Tabelas 38, 39, 41, 42 e 44 do anexo e verificou-se que os tratamentos somente diferiram para teores de P, Ca e Mg.

Em relação aos teores de P na casca do horizonte orgânico Lv (Tabela 40 do anexo), foi encontrado uma diferença estatística ($p < 0,05$) para o contraste entre os tratamentos 3 (lixo) e 2 (calcário), sendo este teor superior na parcela que recebeu lixo compostado em comparação com a que recebeu calcário e com a testemunha (tratamento 4).

O teste F de contraste para os teores de Ca entre tratamentos, apresentou um valor significativo ($p < 0,05$) para o contraste entre os tratamentos 2 (calcário) e 3 (lixo) em

comparação com a testemunha (Tabelas 42 e 43 do anexo). Esta significância foi observada nos galhos do horizonte orgânico Lv, onde as parcelas com lixo compostado e as com calcário apresentaram-se superiores em relação à testemunha (tratamento 4). Os teores mais elevados de Ca encontrados nos galhos da serapilheira, nos tratamentos 2 e 3, podem ser um indicativo da contribuição do calcário e do lixo no aumento deste nutriente no sítio florestal.

Na análise de contraste entre tratamentos para teores de Mg (Tabela 45 do anexo) destacou-se a diferença significativa ($p < 0,05$) dos teores nos galhos do horizonte Lv da serapilheira entre os tratamentos 2 (calcário) e 3 (lixo), sugerindo o efeito do calcário nos teores mais altos de Mg nos galhos das árvores deste tratamento.

Nos teores de nutrientes para os componentes da serapilheira, independente dos tratamentos e dos horizontes orgânicos, também foram verificadas diferenças significativas a 1% de probabilidade (Tabela 16). Sendo que os teores nos componentes da serapilheira diminuíram na seguinte ordem: folhas > casca > galhos, para N e P; folhas > casca e galhos, para K; e folhas > galhos para Ca e Mg.

TABELA 16. TEORES DE NUTRIENTES NOS COMPONENTES DA SERAPILHEIRA. MÉDIA DE 24 REPETIÇÕES.

Componente	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
Folhas	11,39 a	0,42 a	0,50 a	7,37 a	1,28 a
Casca	4,87 b	0,25 b	0,32 b	6,86 ab	1,33 a
Galhos	3,48 c	0,14 c	0,31 b	5,84 b	0,72 b

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 1 % de significância.

Comparando os teores de nutrientes entre os horizontes orgânicos da serapilheira verificaram-se diferenças significativas a 1% de probabilidade, independente dos tratamentos e dos componentes da serapilheira. Os teores dos elementos N, P e Ca no horizonte Lv foram superiores estatisticamente aos do horizonte Ln (Tabela 17).

TABELA 17. TEORES DE NUTRIENTES NOS HORIZONTES DA SERAPILHEIRA. MÉDIA DE 36 REPETIÇÕES.

Horizonte	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
Lv	7,76 a	0,32 a	0,40 a	7,70 a	1,14 a
Ln	5,39 b	0,22 b	0,36 a	5,68 b	1,08 a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 1 % de significância

Os resultados apresentados na Tabela 17 correspondem a uma média simples para os teores de nutrientes dos três componentes da serapilheira. Com o objetivo de se avaliar a influência dos tratamentos nos teores de nutrientes dos horizontes, utilizou-se os teores obtidos a partir da média ponderada, considerando o teor e a quantidade de biomassa de cada componente.

Na Tabela 18 encontram-se os teores médios de nutrientes na serapilheira considerando casca, folhas e galhos.

TABELA 18. TEORES MÉDIOS DE N, P, K, Ca E Mg NA SERAPILHEIRA DOS TRATAMENTOS, POR HORIZONTE ORGÂNICO, AOS 86 MESES DE IDADE DO *E. grandis*.

Tratamento	Horizonte	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
1	Ln	5,38	0,19	0,40	5,88	0,93
1	Lv	11,12	0,43	0,40	6,81	1,04
%	Lv/Ln	107	123	0	16	12
2	Ln	4,27	0,17	0,30	5,36	0,90
2	Lv	10,64	0,46	0,42	8,46	1,30
%	Lv/Ln	149	164	39	58	44
3	Ln	4,10	0,15	0,29	4,51	0,81
3	Lv	11,17	0,46	0,46	7,66	1,04
%	Lv/Ln	172	197	60	70	29
4	Ln	4,58	0,18	0,35	4,90	0,86
4	Lv	10,95	0,46	0,43	6,69	1,07
%	Lv/Ln	139	157	21	37	24
Média	Ln	4,58	0,17	0,34	5,16	0,88
Média	Lv	10,97	0,45	0,43	7,41	1,11
%	Lv/Ln	139	158	27,10	43	27

Numa comparação dos teores de nutrientes no horizonte orgânico Lv com os do horizonte Ln, verificou-se para os tratamentos que os teores no Lv aumentaram entre 12 e 197% em relação às do horizonte Ln, com exceção somente para o K no tratamento 1.

Observou-se ainda, que este aumento no tratamento com lixo urbano, com exceção do Mg sempre foi maior do que o aumento nos outros tratamentos. A tendência deste tratamento em apresentar teores mais baixos de nutrientes no Ln e mais altos no Lv sugere que seja apenas um efeito de concentração, isto é, da diminuição da biomassa numa velocidade maior do que a liberação de nutrientes, presentes na matéria orgânica.

SANKARAN *et al.* (2000), estudando a decomposição de casca, folhas e galhos em *E. grandis*, encontraram aumentos nos teores de N para os três componentes após cinco meses de decomposição, mostrando uma imobilização de N na matéria orgânica.

QUADROS (1996), avaliando a serapilheira de *E. grandis* em Neossolo Quartzarênico Órtico no estado de São Paulo, entre os 36 e 40 meses de idade, encontrou maiores teores de macronutrientes no horizonte orgânico Ln do que no Lv, com exceção do nitrogênio, o qual foi justificado como um possível efeito de concentração devido a diminuição de carbono na matéria orgânica em decomposição.

Confrontando os resultados obtidos neste trabalho com os de QUADROS (1996), verificou-se, de uma maneira geral, que a relação entre Lv e Ln inverteu-se dos 36 meses para os 86 meses de idade do *E. grandis*, ou seja, na idade mais nova, provavelmente, houve um menor peso para o processo de decomposição da serapilheira e deste modo seria menor o efeito da concentração de nutrientes devido à perda de peso da matéria orgânica.

4.4.3 Conteúdo de nutrientes na serapilheira aos 86 meses de idade

Nas Tabelas 19 e 20 estão apresentados os conteúdos de nutrientes da serapilheira, obtidos a partir da biomassa e concentração de nutrientes.

TABELA 19. CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA EM kg/ha, POR TRATAMENTO, SEPARADA NA COLETA EM DOIS HORIZONTES ORGÂNICOS (Ln = LITER NOVO; Lv = LITER VELHO) NA IDADE DO CORTE DO *E. grandis* (86 MESES).

Trat.	Horizonte	serapilheira	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca(kg/ha)	Mg(kg/ha)
1	Ln	casca	5,33	0,40	0,45	8,81	1,80
2	Ln	casca	5,67	0,33	0,36	9,06	2,33
3	Ln	casca	8,90	0,56	0,68	13,50	2,94
4	Ln	casca	7,42	0,54	0,51	10,97	2,59
1	Ln	folhas	28,05	0,90	1,51	21,58	4,02
2	Ln	folhas	29,12	0,80	1,52	20,89	3,86
3	Ln	folhas	27,66	0,90	1,41	20,86	3,57
4	Ln	folhas	27,49	0,90	1,68	18,75	3,83
1	Ln	galhos	25,90	0,82	2,45	34,33	4,45
2	Ln	galhos	16,72	0,95	1,75	34,65	4,69
3	Ln	galhos	22,02	0,73	2,04	30,04	5,02
4	Ln	galhos	19,31	0,70	2,01	28,28	3,80
1	Lv	casca	1,49	0,07	0,09	1,96	0,32
2	Lv	casca	1,11	0,04	0,07	1,52	0,25
3	Lv	casca	1,97	0,12	0,11	2,72	0,41
4	Lv	casca	1,46	0,04	0,09	1,73	0,33
1	Lv	folhas	87,28	3,32	2,81	46,22	7,29
2	Lv	folhas	85,39	3,68	2,98	58,64	9,39
3	Lv	folhas	93,41	3,79	3,36	50,52	7,78
4	Lv	folhas	91,47	3,92	3,27	48,97	8,17
1	Lv	galhos	6,08	0,28	0,50	9,94	1,28
2	Lv	galhos	9,17	0,37	0,72	15,86	2,07
3	Lv	galhos	9,63	0,37	0,88	18,79	1,62
4	Lv	galhos	6,00	0,23	0,52	9,76	1,17

TABELA 20. CONTEÚDO DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA EM kg/ha, POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES).

Tratamento	serapilheira	N(kg/ha)	P(kg/ha)	K(kg/ha)	Ca(kg/ha)	Mg(kg/ha)
1	casca	6,82	0,47	0,54	10,76	2,12
2	casca	6,78	0,37	0,42	10,58	2,58
3	casca	10,87	0,67	0,80	16,22	3,34
4	casca	8,88	0,58	0,60	12,70	2,93
1	folhas	115,33	4,22	4,33	67,80	11,31
2	folhas	114,51	4,48	4,50	79,52	13,25
3	folhas	121,07	4,69	4,77	71,38	11,35
4	folhas	118,96	4,82	4,95	67,71	12,00
1	galhos	31,98	1,10	2,95	44,27	5,74
2	galhos	25,88	1,32	2,47	50,50	6,76
3	galhos	31,64	1,11	2,93	48,82	6,65
4	galhos	25,31	0,92	2,53	38,04	4,98
1	Total	154,1	5,8	7,8	122,8	19,2
2	Total	147,2	6,2	7,4	140,6	22,6
3	Total	163,6	6,5	8,5	136,4	21,3
4	Total	153,2	6,3	8,1	118,5	19,9
Média	-	154,5	6,2	7,9	129,6	20,7

As análises de variância e testes F para contrastes (Tabelas 46 e 47 do anexo) entre tratamentos mostraram resultados significativos para conteúdo de K na casca e de Mg nos galhos. Os conteúdos de K na casca da serapilheira do tratamento que recebeu lixo urbano compostado foram maiores ($p < 0,05$) do que os do tratamento com calcário. O Mg, nestes dois tratamentos apresentou teores nos galhos da serapilheira superiores estatisticamente ($p < 0,05$) à testemunha (tratamento 4).

Observou-se que não houve diferença estatística entre tratamentos para a maioria dos dados de conteúdos de nutrientes na serapilheira, aos 86 meses de idade, apesar da diferença de produtividade entre eles. O total de nutrientes da serapilheira (média entre tratamentos) acumulado na superfície do solo das parcelas de *E. grandis* aos 86 meses de idade (Tabela 20) equivale a 38,0% de N, 13,3% de P, 6,2% de K, 54,5% de Ca e 25,7% de Mg, do total de nutrientes da biomassa aérea (Tabela 11, item 4.2.3). Estes valores foram inferiores aos relatados por GONÇALVEZ *et al.* (2000b) para *E. grandis* aos 84 meses idade.

Esta quantidade de nutrientes presente na serapilheira de *Eucalyptus grandis* na idade de 86 meses, mostrou a importância da conservação da matéria orgânica acumulada na superfície do solo quando do corte e da retirada da madeira das áreas reflorestadas, como um estoque adicional de nutrientes para a próxima rotação.

Diversos autores recomendam manter e conservar a serapilheira como uma reserva de nutrientes para o desenvolvimento inicial de um novo plantio (GONÇALVEZ *et al.*, 2000a; LACLAU *et al.*, 2000; SANKARAN *et al.*, 2000; BOUILLET *et al.*, 2000).

4.5 Efeitos da adubação mineral e da aplicação de lixo orgânico sobre o solo

4.5.1 Análise química do solo

O solo foi avaliado 86 meses após o plantio, verificando-se os efeitos dos tratamentos sobre as suas propriedades químicas. Os dados referentes às análises encontram-se nas Tabelas 21 e 22.

A análise de variância para os valores de pH do solo encontra-se na Tabela 48, do anexo. Observou-se que os efeitos de tratamentos e de profundidades do solo foram significativos a 1% de probabilidade. Aplicando-se o teste Tukey para os dados de profundidade, verificou-se que o pH na profundidade de 0 a 5 cm foi menor e diferiu estatisticamente do pH de pelo menos duas das outras profundidades ($p < 0,05$), com exceção do tratamento 4, onde os valores de pH não diferiram significativamente entre as diferentes profundidades (Tabela 23).

TABELA 21. ANÁLISE DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES POR TRATAMENTO, 86 MESES APÓS O PLANTIO. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES.

Trat.	Prof. (cm)	pH	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	MO	P
		CaCl ₂	cmolc ⁽⁺⁾ /dm ³					g/dm ³	mg/dm ³
1	0 - 5	3,41	0,03	0,52	1,03	1,50	7,37	16,09	6,8
1	5 - 10	3,63	0,02	0,40	1,05	1,17	5,83	13,71	6,6
1	10 - 20	3,80	0,02	0,37	0,80	0,87	4,67	10,83	11,9
1	20 - 30	3,87	0,01	0,30	0,92	0,93	4,23	9,34	9,6
2	0 - 5	3,42	0,03	0,48	1,27	1,57	5,48	22,45	4,1
2	5 - 10	3,66	0,02	0,38	0,97	1,03	5,03	11,72	7,9
2	10 - 20	3,78	0,01	0,43	0,82	0,97	4,18	12,38	9,8
2	20 - 30	3,88	0,01	0,30	1,22	0,87	8,50	11,68	8,5
3	0 - 5	3,31	0,05	0,45	1,93	1,77	5,63	15,58	4,7
3	5 - 10	3,68	0,02	0,33	1,52	1,07	4,49	10,85	4,6
3	10 - 20	3,83	0,02	0,47	1,12	1,00	3,99	8,86	11,9
3	20 - 30	3,90	0,01	0,33	0,97	0,80	5,89	10,57	16,0
4	0 - 5	3,31	0,03	0,35	0,70	1,53	6,00	13,44	5,2
4	5 - 10	3,51	0,02	0,32	0,58	1,23	5,22	10,77	5,0
4	10 - 20	3,47	0,02	0,45	0,75	1,27	5,75	13,66	6,1
4	20 - 30	3,65	0,01	0,35	0,92	1,30	5,49	10,89	8,9

TABELA 22. ANÁLISE DO SOLO, MÉDIA DAS DIFERENTES PROFUNDIDADES ESTUDADAS, POR TRATAMENTO AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Trat	pH	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	MO	P
	CaCl ₂	cmolc ⁽⁺⁾ /dm ³					g/dm ³	mg/dm ³
1	3,68	0,02	0,40	0,95	1,12	5,53	12,49	8,74
2	3,69	0,02	0,40	1,07	1,11	5,80	14,56	7,58
3	3,68	0,03	0,40	1,38	1,16	5,00	11,47	9,28
4	3,48	0,02	0,37	0,74	1,33	5,61	12,19	6,28

TABELA 23. VALORES DE pH DO SOLO PARA OS TRATAMENTOS.

Profundidade	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4
20a30 cm	3,87 a	3,88 a	3,90 a	3,65 a
10a20 cm	3,80 a	3,78 a	3,83 a	3,47 a
5a10 cm	3,63 ab	3,66 ab	3,68 a	3,51 a
0a5 cm	3,41 b	3,42 b	3,31 b	3,31 a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância; D.M.S. = 0,343.

KIEHL (1985) acrescentou que a adição de compostos orgânicos, pelo menos inicialmente, pode elevar o pH do solo, principalmente por causa das altas concentrações de bases trocáveis nesses materiais, contudo a remoção dessas bases pelas plantas provoca a acidificação do solo. O tratamento com lixo compostado apresentou um pH mais baixo na superfície do solo e diferente significativamente das outras profundidades, que pode ser um indicativo da absorção mais intensa de bases na superfície, fato observado na Tabela 11 (item 4.2.3), onde as árvores de *E. grandis* do tratamento com lixo urbano orgânico compostado apresentaram maiores biomassas e conteúdos de nutrientes em comparação aos demais tratamentos. Este mesmo autor relaciona ainda que a lixiviação dessas bases no solo da camada superior para profundidades maiores, também pode diminuir o pH na superfície do solo.

De acordo com a análise estatística (Tabelas 48 do anexo), observou-se pelo teste F para contrastes entre os tratamentos, que o pH do solo, nos tratamentos com calcário e lixo compostado, foi superior ($p < 0,01$) à testemunha (trat. 4), indicando que tanto o lixo compostado quanto o calcário contribuíram para um aumento do pH. Analisando o contraste destes dois tratamentos com a testemunha, em cada profundidade separadamente (Tabelas 49 e 50 do anexo), verifica-se que esta significância só ocorreu nas profundidades de 10 a 20 cm ($p < 0,01$) e na de 20 a 30 cm ($p < 0,05$).

Trabalhos realizados por ALVES e PASSONI (1997) e TRINDADE, DIAS e JUCFSCH (1997), avaliando o uso de composto de lixo orgânico urbano na produção de mudas florestais, encontraram aumentos de pH no substrato de mudas após a formulação do substrato com este resíduo. Enquanto que FORTES NETO *et al.* (1996), utilizando lixo urbano com características similares ao que foi aplicado no *E. grandis*, principalmente com relação a pH e teores de P e de Ca, no cultivo de olerícolas em Latossolo Vermelho Amarelo e SANTOS, VICENTE e MIRANDA (1999), utilizando o composto de lixo urbano como substrato no cultivo de alface, verificaram também uma elevação do pH. Em diversos ensaios de campo com a aplicação de outros resíduos orgânicos em plantios florestais,

também foram constatados aumentos no pH do solo (BELLOTE *et al.*, 1994; GUERRINI *et al.*, 1994; GUERRINI; MORO, 1994).

Em relação ao K (dados apresentados na Tabela 21), verificou-se diferenças significativas entre as profundidades do solo (Tabela 51 do anexo), sendo que sua concentração nos primeiros 5 cm de solo, em todos os tratamentos, foi significativamente superior, principalmente a da maior profundidade (Tabela 24). De acordo com os resultados, destacou-se o tratamento que recebeu o lixo compostado, onde a concentração de K na profundidade de 0 a 5 cm foi superior ($p < 0,05$) à todas as outras profundidades.

Apesar do valor de F não significativo para tratamentos na análise de variância (Tabela 51 do anexo), o teste F para contrastes entre tratamentos, quanto ao teor de K na profundidade de 0 a 5 cm (Tabela 52 do anexo), indicou que o solo no tratamento que recebeu o lixo urbano compostado apresentou teores superiores aos demais tratamentos ($p < 0,05$). Isto sugere que a aplicação do lixo compostado cuja composição proporciona a incorporação de 133 kg/ha de K, aumentou o teor deste elemento no sistema, principalmente na superfície do solo.

Teores mais elevados de K também foram observados por ALVES e PASSONI (1997), TRINDADE, DIAS e JUCFSCH (1997) e SANTOS, VICENTE e MIRANDA (1999) em substratos para plantas após a utilização de lixo urbano compostado na formulação do substrato. KOTZE e JOUBERT (1992) também observaram aumentos nos teores de K seis anos após a aplicação de composto de lixo urbano em solos plantados com damasco.

TABELA 24. CONCENTRAÇÃO DE K ($\text{cmolc}^{(+)}/\text{dm}^3$) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO POR TRATAMENTO.

Profundidade	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4
0a5 cm	0,03 a	0,03 a	0,05 a	0,03 a
5a10 cm	0,02 ab	0,02 ab	0,02 b	0,02 ab
10a20 cm	0,02 ab	0,01 b	0,02 b	0,02 ab
20a30 cm	0,01 b	0,01 b	0,01 b	0,01 b

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de significância; D.M.S. 5% = 0,018.

De acordo com as análises de variância realizadas para o Ca e Mg, tratamento, profundidade do solo e a interação entre eles (Tabelas 53 e 54 do anexo) verificou-se no tratamento que recebeu lixo compostado e no que recebeu calcário que os teores de Mg foram significativos a 5% de probabilidade em relação à testemunha. Analisando ainda este contraste dentro de cada profundidade do solo (tabela 55 do anexo), verificou-se, de modo similar ao que ocorreu para o K, que o aumento foi principalmente na superfície do solo, pois apenas na profundidade de 0 a 5 cm o contraste foi significativo ($p < 0,05$).

Em estudos sobre a utilização de composto de lixo urbano na produção de mudas, ALVES e PASSONI (1997) reportaram acréscimos nos teores de Ca e Mg no substrato enquanto que TRINDADE, DIAS e JUCFSCH (1997), verificaram que o aumento ocorreu apenas nos teores de Ca.

Os resultados das análises estatísticas para os teores de alumínio (Al) e alumínio e hidrogênio (H + Al) no solo, foram semelhantes ao do pH (Tabelas 56 e 57 do anexo) e, com algumas exceções, confirmaram a relação inversa citada na literatura entre o pH com o Al e com o H + Al, ou seja, maiores teores de Al e de H + Al correspondem a valores mais baixos de pH (maior acidez). Foram encontradas diferenças significativas para os valores de alumínio em diferentes profundidades do solo para alguns tratamentos (Tabelas 25 e 26).

Nas análises de contrastes entre os tratamentos, apenas na profundidade de 20 a 30 cm, ocorreram valores significativos, sendo que os teores de Al foram inferiores nos tratamentos de lixo compostado e de calcário em comparação com a testemunha (Tabela 58 do anexo) e os teores de H + Al foram inferiores no tratamento 1 (menos adubado) em comparação com os demais e também foi menor no tratamento de lixo compostado quando comparado com o de calcário (Tabela 59 do anexo). A diminuição nos teores de H + Al e aumentos na saturação por bases (V%), contribui para a elevação dos teores disponíveis de K, Ca e Mg no solo com reflexos no aumento de produtividade dos plantios. Decorridos 86

meses da aplicação do lixo urbano orgânico compostado, não foram observados efeitos benéficos ou prejudiciais ao solo com relação a estes parâmetros.

TABELA 25. VALORES DE Al (cmolc⁽⁺⁾/dm³) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO PARA OS TRATAMENTOS.

Profundidade	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4
0a5 cm	1,50 a	1,57 a	1,77 a	1,53 a
5a10 cm	1,17 a	1,03 ab	1,07 b	1,23 a
10a20 cm	0,87 a	0,97 ab	1,00 b	1,27 a
20a30 cm	0,93 a	0,87 b	0,80 b	1,30 a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância; D.M.S. = 0,698.

TABELA 26. VALORES DE H+Al (cmolc⁽⁺⁾/dm³) EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO PARA OS TRATAMENTOS.

Profundidade	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4
0a5 cm	7,37 a	5,48 b	5,63 a	6,00 a
5a10 cm	5,83 ab	5,03 b	4,49 a	5,22 a
10a20 cm	4,67 ab	4,18 b	3,99 a	5,75 a
20a30 cm	4,23 b	8,50 a	5,89 a	5,49 a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância; D.M.S. = 2,94.

Para os teores de matéria orgânica no solo, a única diferença significativa foi em relação à profundidade (Tabela 60 do anexo), sendo que na superfície, de 0 a 5 cm, o teor foi mais alto do que nas outras profundidades.

A análise dos tratamentos separadamente indicou que apenas no tratamento 2 (calcário) houve diferenças significativas entre as profundidades pelo teste Tukey ($p < 0,05$), destacando-se a profundidade de 0 a 5 cm com teor superior as demais (Tabela 27).

TABELA 27. VALORES DE MATÉRIA ORGÂNICA EM g/dm³ PARA OS TRATAMENTOS NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO.

Profundidade	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4
0a5 cm	16,09 a	22,45 a	15,58 a	13,44 a
5a10 cm	13,71 a	11,72 b	10,85 a	10,77 a
10a20 cm	10,83 a	12,38 b	8,86 a	13,66 a
20a30 cm	9,34 a	11,68 b	10,58 a	10,89 a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância; D.M.S. = 9,69.

A aplicação do lixo urbano orgânico compostado em *Eucalyptus* possivelmente

aumenta o teor de matéria orgânica do solo nos estágios iniciais do desenvolvimento das árvores, contribuindo para um melhor desenvolvimento inicial e promove uma maior velocidade de decomposição da serapilheira, resultando em um consumo mais rápido da matéria orgânica do solo, disponibilizando os nutrientes para as árvores e intensificando o processo de ciclagem. Deste modo, é provável que no final do ciclo (86 meses) seja mais difícil detectar este aumento no teor de matéria orgânica no solo. Entretanto, os dados disponíveis neste trabalho não permitem qualquer conclusão neste sentido.

Por último, para os teores de P no solo das parcelas do ensaio, não houve diferenças significativas para as variáveis a 5% de probabilidade (Tabela 61 do anexo).

Com relação a melhor época para se detectar as alterações no solo e na planta provocadas pela aplicação de resíduos orgânicos no solo, GUERRINI e MORO (1994), recomendaram que a amostragem deve ocorrer entre os seis e 12 meses após a aplicação do resíduo no solo. Apesar desta avaliação no estágio inicial no sítio possibilitar um diagnóstico imediato das novas condições do ambiente, avaliações em idades mais avançadas, como no caso deste experimento (86 meses) e até nas próximas rotações da floresta, poderão contribuir para os estudos dos efeitos do uso de resíduos orgânicos na sustentabilidade de sistemas de produção florestal.

4.5.2 Análise física do solo

Uma outra avaliação importante quando da aplicação de adubos minerais e resíduos no sítio florestal é a das propriedades físicas do solo. Após 86 meses de idade das árvores, foram avaliados os efeitos destes tratamentos sobre as propriedades físicas do solo. As análises das amostras indeformadas nas parcelas experimentais e submetidas a tensões de 3 a 1500 kPa, forneceram os dados de umidade em diferentes profundidades do solo (Tabela 62 do anexo).

Esta variação da umidade do solo, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, entre as tensões de 6 kPa e 1500 kPa, é apresentada nas Figuras 11, 12 e 13. Estes dados foram

submetidos a análises de regressão (Tabela 28) com objetivo de se obter equações, envolvendo a umidade e a tensão do solo, por tratamento, e comparar os coeficientes angulares destas equações, uma vez que quanto maior o seu valor, maior disponibilidade de água no solo.

Observa-se nas Figuras 11, 12 e 13 que a umidade do solo, obtida pela relação entre o volume de água existente na amostra, submetida a uma determinada tensão, pelo volume total da amostra, diminuiu a medida que o potencial de água no solo (tensão) aumentou, destacando-se que o comportamento da umidade do solo foi diferenciado entre os tratamentos. O tratamento que recebeu o lixo urbano compostado apresentou na maioria das tensões e uma maior retenção de água no solo em todas as profundidades avaliadas.

A partir dos resultados da análise de regressão (Tabela 28) observou-se que nas profundidades de 0 a 10 cm e de 20 a 30 cm, o solo que recebeu lixo compostado (trat. 3) apresentou equações com maiores coeficientes angulares do que os outros tratamentos indicando um maior volume de água disponível para as plantas.

TABELA 28. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, OBTIDAS POR TRATAMENTO, COM OS DADOS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES TENSÕES, NAS PARCELAS DE *E. grandis* EM TRÊS PROFUNDIDADES.

Tratamento	Profundidade do solo (cm)	Equação	R ² (%)
1	0 a 10	$Y = - 0,0652 \ln(x) + 0,1873$	97,0
2	0 a 10	$Y = - 0,0609 \ln(x) + 0,2319$	92,4
3	0 a 10	$Y = - 0,0765 \ln(x) + 0,2486$	93,5
4	0 a 10	$Y = - 0,0728 \ln(x) + 0,1908$	92,7
1	10 a 20	$Y = - 0,0574 \ln(x) + 0,1715$	95,9
2	10 a 20	$Y = - 0,0611 \ln(x) + 0,1804$	93,5
3	10 a 20	$Y = - 0,0569 \ln(x) + 0,1776$	82,5
4	10 a 20	$Y = - 0,0613 \ln(x) + 0,1751$	93,6
1	20 a 30	$Y = - 0,0591 \ln(x) + 0,1585$	92,7
2	20 a 30	$Y = - 0,0686 \ln(x) + 0,1632$	85,7
3	20 a 30	$Y = - 0,0776 \ln(x) + 0,1905$	88,6
4	20 a 30	$Y = - 0,0726 \ln(x) + 0,1622$	88,9

Na profundidade de 10 a 20 cm, verificou-se, por meio dos dados de porosidade do solo (Tabela 29), uma condição diferenciada de compactação em todos os tratamentos, não se repetindo o comportamento da umidade do solo, diferenciado entre os tratamentos nas outras profundidades, sugerindo que o tratamento com lixo compostado não tenha contribuído para um aumento no volume de água disponível no solo nesta profundidade.

FIGURA 11. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 A 10 cm.

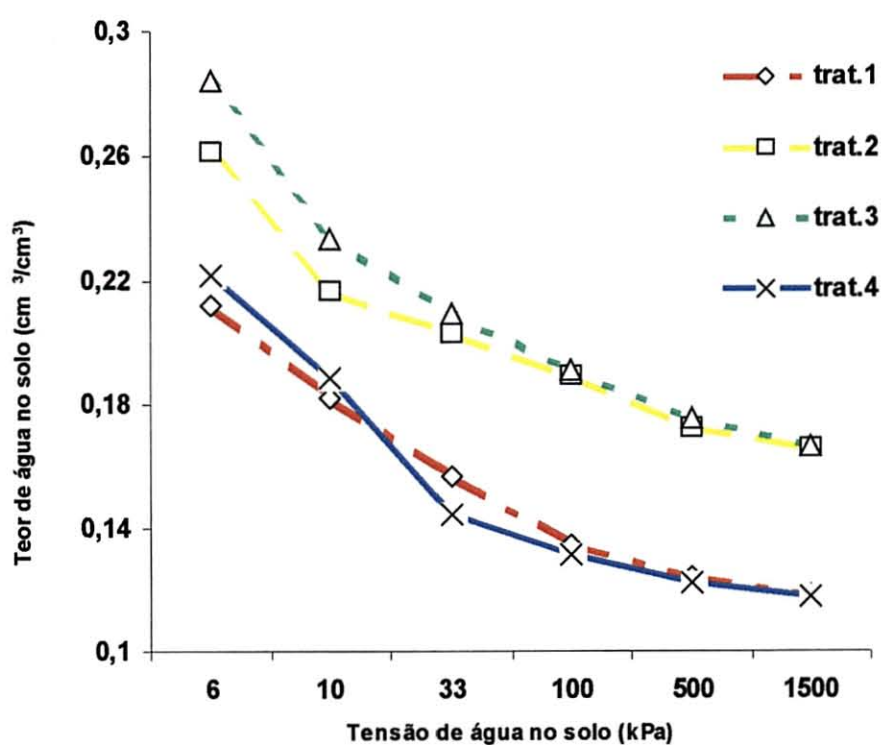


FIGURA 12. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 10 A 20 cm.

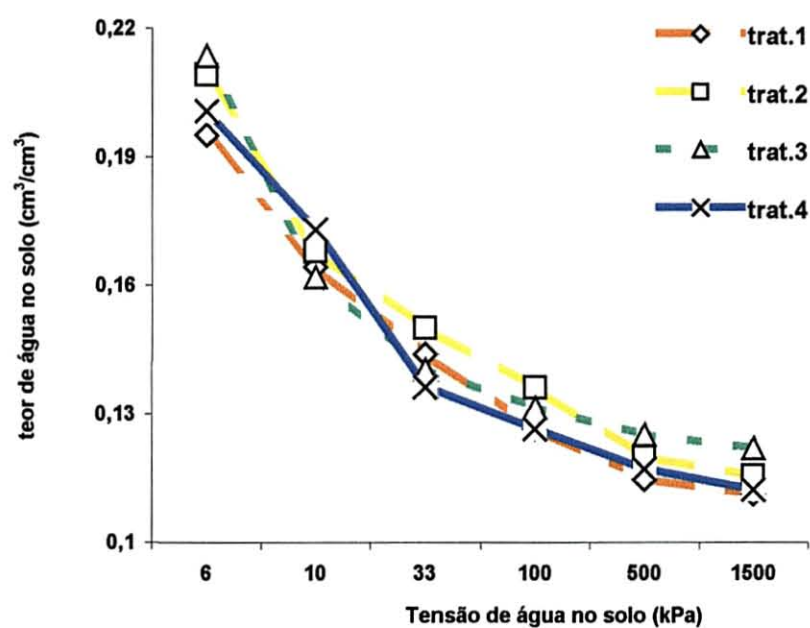


FIGURA 13. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 20 A 30 cm.

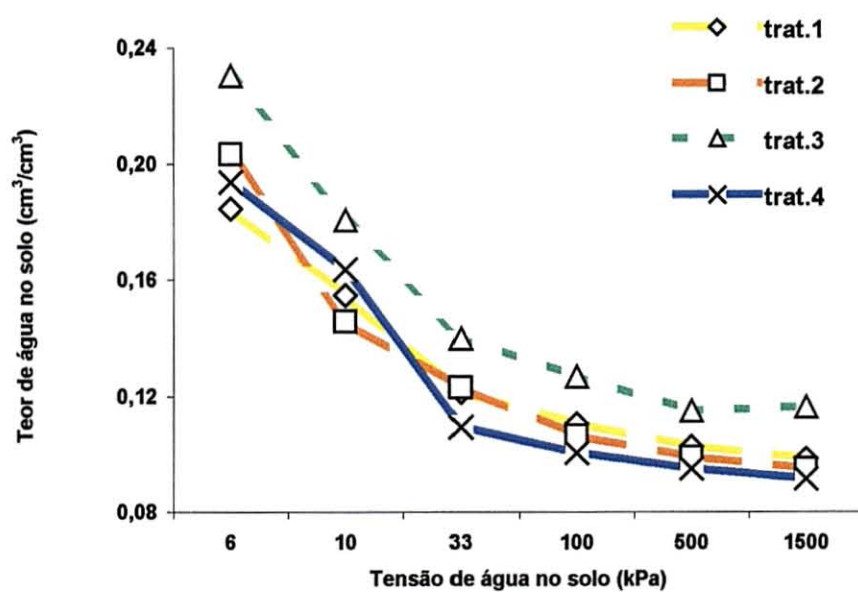


TABELA 29. POROSIDADE TOTAL DO SOLO, MACROPORO E MICROPORO (cm^3/cm^3), EM TRÊS PROFUNDIDADES NO SOLO, POR TRATAMENTO, NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (86 MESES)

Tratamento	profundidade do solo(cm)	porosidade total (cm^3/cm^3)	macroporo (cm^3/cm^3)	microporo (cm^3/cm^3)
1	0-10	0,38	0,17	0,21
2	0-10	0,41	0,15	0,26
3	0-10	0,42	0,13	0,28
4	0-10	0,40	0,18	0,22
1	10-20	0,36	0,17	0,20
2	10-20	0,36	0,15	0,21
3	10-20	0,36	0,15	0,21
4	10-20	0,36	0,16	0,20
1	20-30	0,38	0,19	0,18
2	20-30	0,37	0,17	0,20
3	20-30	0,40	0,17	0,23
4	20-30	0,37	0,17	0,19

Esta condição diferenciada de compactação do solo ao longo da profundidade de 0 a 30 cm, deve-se possivelmente ao uso de máquinas nas atividades florestais desde a fase de preparo da terra até o corte e colheita da madeira. Além disso, os implementos utilizados para descompactar o solo em áreas de reflorestamento podem não ter sido eficientes para descompactar todas as camadas.

Com relação aos dados de porosidade (Tabela 29), verificou-se que embora a porosidade total não tenha variado muito entre os tratamentos, a relação entre macroporos e microporos apresentou maiores alterações dentro dos tratamentos, com exceção da profundidade de 10 a 20 cm, que aparentemente teve problemas de compactação.

Por se tratar de um solo arenoso, a microporosidade é muito importante para a retenção da água no solo, e para esta característica, destacou-se também o tratamento do solo com lixo urbano orgânico compostado, que nas profundidades de 0 a 10 cm e de 20 a 30 cm, apresentou uma relação macro-microporos menor do que a dos outros tratamentos o que contribui para uma maior retenção de água. Observou-se ainda que o tratamento 2 (calcário), também apresentou resultados satisfatórios, principalmente na profundidade de 0 a

10, que pode estar relacionado à capacidade do calcário de aumentar a flocculação de argilas influenciando na porosidade do solo.

Efetuuou-se uma análise de correlação simples (Pearson) entre o DAP médio das árvores aos 86 meses de idade, nas parcelas onde foram coletadas as amostras indeformadas, e a água disponível no solo nestas parcelas na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 30).

TABELA 30. VOLUME DE ÁGUA, NA PROFUNDIDADE DE 0 A 10 cm, DE AMOSTRAS DE SOLO INDEFORMADAS COLETADAS AOS 86 MESES DE IDADE NAS PARCELAS DE *E. grandis* E CORRELAÇÃO COM O DAP MÉDIO DA PARCELA NESTA IDADE. MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES.

Tratamento	DAP médio das árvores (cm)	Água disponível no solo das parcelas em cm ³ /cm ³ na profundidade de 0 a 10 cm
1	12,0	0,094
2	11,9	0,096
3	14,3	0,118
4	11,6	0,104
Cor. Pearson (r)	-	0,61 *

* significativo ($p < 0,05$)

Observou-se nesta tabela, que os maiores diâmetros das árvores estão relacionados aos maiores volumes de água disponível no solo. Como o tratamento 3 (lixo urbano orgânico compostado) em todas as repetições (Tabela 63 do anexo) apresentou os maiores DAP médios das árvores, este resultado confirma a influência do aumento da água disponível no solo sobre a produtividade florestal, em Neossolo Quartzarênico Órtico. O volume de água disponível no solo que recebeu lixo urbano compostado foi superior entre 13% e 25% aos dos outros tratamentos (Tabela 30).

Diversos estudos onde foram utilizados resíduos orgânicos de lixo urbano encontraram melhorias nas condições físicas do solo, como uma melhor estrutura, maior retenção de água, aumento da porosidade total e da microporosidade (KOTZE; JOUBERT, 1992; PAGLIAI; ANTISARI, 1993; BAZZOFFI *et al.*, 1998; CADILON; LACASSI; BELVAUX, 1999). O mesmo ocorrido com o uso do resíduo de celulose e cinza de caldeira de fábrica de papel, em *E. grandis* (BELLOTE *et al.*, 1994).

4.6 Fluxo de nutrientes através da água de chuva em *E. grandis*

Foram avaliados os volumes de precipitação e as concentrações de N, P, K, Ca e Mg na água de chuva livre das copas das árvores (PT) e na precipitação efetiva (PE), após a passagem da água de chuva pelo dossel arbóreo, que chega ao solo através da água que respinga, via precipitação interna (PI) e da água que escorre pelo tronco das árvores (ET) nas parcelas de *E. grandis*, entre 30 e 60 meses de idade.

4.6.1 Avaliação quantitativa da água de chuva em plantios de *E. grandis*

Durante julho/94 até novembro/96 foram registradas 126 precipitações, com um total de 3504 mm, separadas em dois períodos de avaliação: 61 chuvas que ocorreram de julho/94 a junho/95, totalizando aproximadamente 1600 mm; e 65 chuvas que ocorreram de julho/95 a novembro/96, totalizando 1904 mm. As amostragens foram iniciadas 30 meses após o plantio.

Na análise de regressão simples entre os dados de precipitação total (PT) e precipitação interna (PI) foram estabelecidas equações para determinar a quantidade de água que chega ao solo via precipitação interna nos diferentes tratamentos, para cada período avaliado (Tabela 31).

TABELA 31. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO SIMPLES, OBTIDAS POR TRATAMENTO, COM OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO TOTAL (PT) E PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI) NAS PARCELAS DE *E. grandis* PARA OS DOIS PERÍODOS AVALIADOS.

Tratamento	julho/94 a junho/95		julho/95 a novembro/96	
	Equações	R ² (%)	Equações	R ² (%)
1	$PI = PT \times 0,855 + 1,464$	97,33	$PI = PT \times 0,861 - 0,344$	95,72
2	$PI = PT \times 0,868 + 0,714$	96,99	$PI = PT \times 0,848 - 0,109$	94,78
3	$PI = PT \times 0,880 + 0,414$	96,53	$PI = PT \times 0,847 - 0,048$	94,77
4	$PI = PT \times 0,872 + 1,463$	97,07	$PI = PT \times 0,875 - 0,188$	95,23

Os ajustes do modelo linear para a o cálculo da precipitação interna, por tratamentos, nas parcelas de *E. grandis*, foram bastante precisos, com valores altos de coeficiente de determinação (R^2) e $p < 0,01$ para todos os coeficientes angulares (1º termo da equação).

Aplicou-se um teste de comparação para os coeficientes das regressões, a partir das equações obtidas por tratamento e para cada período avaliado, verificando-se que não houve diferenças significativas entre os mesmos. Desta maneira, optou-se por uma equação geral por período avaliado, envolvendo todos os tratamentos, a ser utilizada para o cálculo de PI, gerando valores estimados iguais para todos os tratamentos, referentes a cada valor de PT observado. Assim, as equações obtidas para cada período avaliado foram:

$$PI = PT \times 0,869 + 1,115 \text{ e } R^2 = 96,92\% \quad (\text{julho/94 a junho/95})$$

$$PI = PT \times 0,858 - 0,172 \text{ e } R^2 = 98,39\% \quad (\text{julho/95 a novembro/96})$$

Com relação aos dados de escoamento pelo tronco, as análises de regressão simples com os valores de precipitação total geraram equações diferentes estatisticamente por tratamento. Deste modo, optou-se pela utilização dos valores reais de escoamento, encontrados para cada tratamento nas parcelas experimentais, para os cálculos de nutrientes.

Na Tabela 32, estão resumidos os valores totais coletados de PT e ET (média entre tratamentos) e estimado de PI, assim como os cálculos de PE e da perda por interceptação (I) durante cada período e considerando os dois períodos juntos, totalizando 29 meses de monitoramento.

TABELA 32. PRECIPITAÇÃO TOTAL(PT), INTERNA (PI), EFETIVA (PE), ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) E PERDA POR INTERCEPTAÇÃO (I), NA ÁREA EXPERIMENTAL DE JUL/94 A JUN/95, JUL/95 A OUT/96 E DE JUL/94 A OUT/96.

Período	Unidade	PT	PI	ET	PE	I
Jul/94 a Jun/95	mm	1599,7	1458,7	79,5	1538,2	61,5
	%	100,0	91,2	5,0	96,2	3,8
Jul/95 a Nov/96	mm	1904,0	1622,7	90,9	1713,6	190,4
	%	100,0	85,2	4,8	90,0	10,0
Jul/94 a Nov/96	mm	3503,7	3081,4	170,4	3323,7	251,9
	%	100,0	87,9	4,9	92,8	7,2

Comparando os dois períodos avaliados, verificou-se que para o primeiro (jul/94 a jun/95) o percentual da precipitação interna foi maior devido ao menor volume de copa das árvores nesta idade e, portanto, menor interceptação da água de chuva (3,8 %). Entretanto, no 2º período, com a tendência da copa das árvores se tocarem, aumentando a cobertura do solo e o volume de folhas e galhos, o percentual de interceptação da água de chuva (10 %) aumentou significativamente.

LIMA e BARBIN (1975) encontraram valores superiores para estes parâmetros em *E. saligna*, aos 72 meses de idade em Piracicaba - SP, que resultaram numa perda de água por interceptação de 12,2%. No entanto, confrontando estes dados com os do presente estudo, no período de julho de 95 a novembro de 96 a interceptação foi de 10 %, sendo importante ressaltar que a idade do povoamento de *E. grandis* durante este período foi de 43 a 60 meses, com as árvores apresentando provavelmente um menor volume de copa e uma menor cobertura de solo.

4.6.2 Avaliação qualitativa da água de chuva em plantios de *E. grandis*

A partir dos totais de nutrientes contidos na água de precipitação interna (PI) e de escoamento pelo tronco (ET) foram obtidos os totais de nutrientes que chegaram ao solo pela precipitação efetiva (PE), os quais puderam ser comparados com a entrada de nutrientes pela água de chuva (PT), em área sem vegetação adjacente ao ensaio, para cada período avaliado correspondente a um ano, onde de julho de 1994 a junho de 1995 obteve-se 1599,7 mm e de julho de 1995 a junho de 1996, 1417,6 mm (Tabelas 33 e 34).

TABELA 33. TOTAL DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) E NA DE PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI) EM kg/ha.ano, NOS DIFERENTES TRATAMENTOS NO PERÍODO DE JULHO/94 A JUNHO/95.

Tratamento	Nutrientes kg/ha.ano				
	N	P	K	Ca	Mg
PI					
T1	2,98	0,25	3,65	23,38	2,78
T2	2,45	0,34	5,11	25,23	3,10
T3	2,95	0,44	5,37	20,94	3,14
T4	2,76	0,31	5,88	23,65	3,23
ET					
T1	0,03	0,06	0,70	1,39	0,30
T2	0,05	0,19	2,39	3,06	0,87
T3	0,03	0,31	2,17	2,52	0,67
T4	0,04	0,12	2,07	2,28	0,90
PE					
T1	3,0	0,3	4,4	24,8	3,1
T2	2,5	0,5	7,5	28,3	4,0
T3	3,0	0,8	7,5	23,5	3,8
T4	2,8	0,4	8,0	25,9	4,1
PT	7,0	0,8	2,7	9,5	1,2

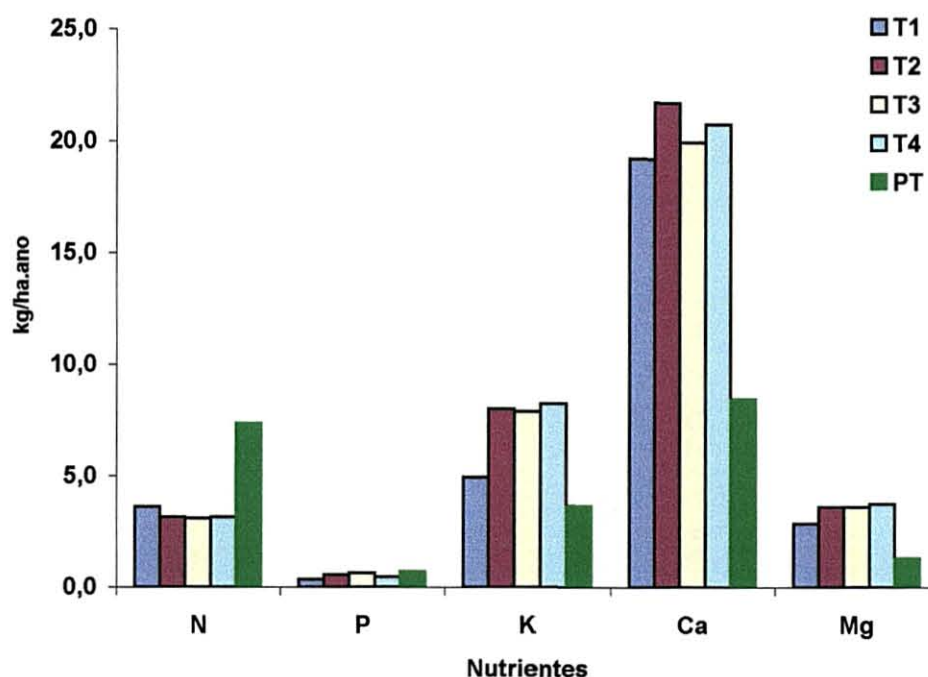
TABELA 34. TOTAL DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE ESCOAMENTO PELO TRONCO (ET) E NA DE PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI) EM kg/ha.ano, NOS DIFERENTES TRATAMENTOS NO PERÍODO DE JULHO/95 A JUNHO/96.

Tratamento	Nutrientes kg/ha.ano				
	N	P	K	Ca	Mg
PI					
T1	4,03	0,36	4,13	12,20	2,28
T2	3,60	0,35	6,09	12,94	2,48
T3	2,95	0,33	6,16	13,95	2,69
T4	3,24	0,39	6,94	14,12	2,89
ET					
T1	0,21	0,07	1,32	1,39	0,36
T2	0,16	0,23	2,41	2,20	0,75
T3	0,22	0,19	2,13	2,45	0,70
T4	0,27	0,06	1,57	1,51	0,52
PE					
T1	4,2	0,4	5,5	13,6	2,6
T2	3,8	0,6	8,5	15,1	3,2
T3	3,2	0,5	8,3	16,4	3,4
T4	3,5	0,5	8,5	15,6	3,4
PT	7,7	0,6	4,6	7,4	1,4

A análise dos resultados apresentados nas Tabelas 33 e 34, indica que de uma maneira geral, o tratamento que recebeu a menor quantidade de adubos (trat. 1) apresentou totais de nutrientes na precipitação efetiva (PE) inferiores aos demais tratamentos. Numa comparação dos totais de nutrientes pelo escoamento pelo tronco (ET), entre os tratamentos, destacaram-se os de maiores volumes cilíndricos de madeira, ou seja, o 3 (lixo urbano compostado com 101 m³/ha) e o 2 (calcário com 73 m³/ha), que apresentaram conteúdos, na maioria das vezes, superiores aos outros dois tratamentos. Contudo, a quantidade de nutrientes observada na água de escoamento pelo tronco representa uma contribuição minoritária com relação ao total de nutrientes pela precipitação efetiva (PE).

Comparando o total de nutrientes contidos na PE com as entradas pela precipitação total, por tratamento (média para os dois períodos avaliados), observou-se duas situações (Figura 14): a primeira em que os nutrientes N e P apresentaram valores menores na precipitação efetiva, e a segunda, onde os elementos K, Ca e Mg apresentaram valores superiores na precipitação efetiva. Isto demonstra que, para alguns nutrientes, pode haver uma retenção na copa e para outros um carreamento para o solo. FERREIRA *et al.* (1996), trabalhando também com *Eucalyptus grandis* numa outra região do estado, encontrou resultados semelhantes.

FIGURA 14. NUTRIENTES NA ÁGUA DE PRECIPITAÇÃO EFETIVA POR TRATAMENTO E NA ÁGUA DE PRECIPITAÇÃO TOTAL EM kg/ha.ano. MÉDIA DOS DOIS PERÍODOS AVALIADOS.



Diversos autores têm sugerido que uma parte do nitrogênio presente na água de precipitação é absorvida diretamente pela parte aérea das árvores, não atingindo o solo, CARLISLE *et al.* (1966); SCHLESINGER (1978); BRINSON *et al.* (1980); POTTER, RAGSDALE e SWANK (1991); FERREIRA *et al.* (1996); LACLAU *et al.* (2000). EILERS *et al.* (1992) confirmaram esta absorção em árvores de *Picea abies* (L.) Karst., sob condições controladas. Os autores verificaram através de chuvas simuladas, usando ^{15}N , que a absorção de nitrogênio, pela parte aérea das árvores, ocorreu tanto na forma de nitrato quanto na de amônio. Nas condições de campo, eles sugeriram que *Picea abies* absorve diretamente pela copa cerca de 9,0 kg de N /ha.ano.

Desta forma, o menor conteúdo de N observado na precipitação efetiva quando comparado com o conteúdo da precipitação total, livre das copas das árvores, pode indicar uma absorção de N pelas copas das árvores de *E. grandis*.

Comparando as entradas de nutrientes na região do ensaio (Figura 14) com os valores encontrados por FERREIRA *et al.* (1996) para a região de Mogi-Guaçu-SP, verificou-se uma variação na entrada de nutrientes principalmente para o K. Tais variações podem ser devido principalmente às diferenças de localização geográfica (correntes aéreas, concentrações urbanas e industriais, influências de queimadas, entre outras).

ARCOVA e CICCIO (1987), avaliando o fluxo de nutrientes através da precipitação em Cunha-SP, encontraram as maiores variações na concentração de Ca na água de chuva e observaram uma relação inversa entre volume de precipitação e concentração de nutrientes. Enquanto que HENDRY, BERISH e EDGERTON (1984) em estudos na Costa Rica, verificaram variações significativas na concentração de K e N, ressaltando também que as concentrações mais altas de nutrientes ocorreram durante o período de baixa precipitação o qual coincide com o aumento das atividades agrícolas na região.

4.7 Balanço de nutrientes aos 86 meses de idade

Após a quantificação dos nutrientes na árvore e na serapilheira, anterior ao corte das árvores do ensaio, foi possível fazer um balanço de nutrientes para cada tratamento, considerando o procedimento de exploração florestal da região, que processa a árvore no próprio local de plantio, e exporta do sítio somente o alburno e o cerne (Tabela 35).

TABELA 35. QUANTIDADE TOTAL DE N, P, K, Ca E Mg NO SÍTIO, CONSIDERANDO OS NUTRIENTES DA BIOMASSA DE SERAPILHEIRA E DA BIOMASSA DA PARTE AÉREA DA ÁRVORE, E AS QUANTIDADES EXPORTADA PELA COLHEITA DE MADEIRA E REMANESCENTE (ESTOQUE) POR TRATAMENTO AOS 86 MESES.

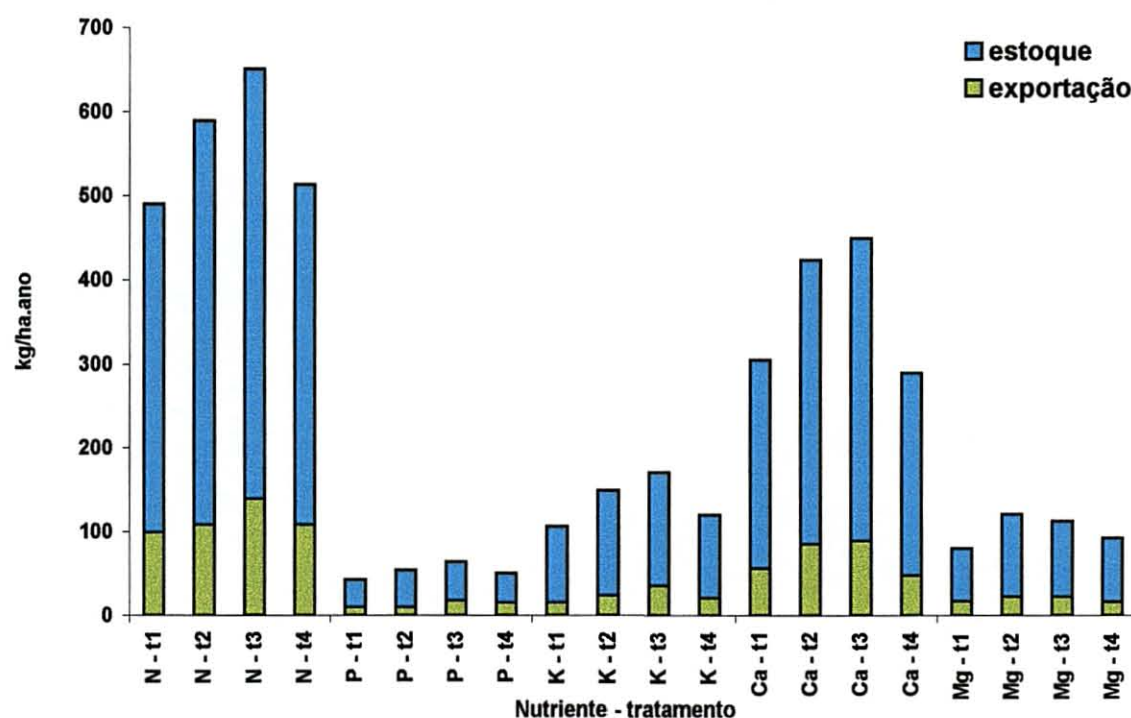
Trat	Sítio	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)
1	total	490	42	105	305	79
1	exporta	99	10	15	56	17
1	estoque	391	32	91	249	63
2	total	589	54	149	424	121
2	exporta	108	10	24	85	22
2	estoque	481	44	125	339	99
3	total	652	65	170	450	112
3	exporta	139	18	35	89	22
3	estoque	512	46	135	361	90
4	total	512	50	120	290	92
4	exporta	108	15	21	48	16
4	estoque	405	35	99	242	76

O descascamento da madeira no campo, citado por GONÇALVES (1995), pode representar uma economia em até 30 % do estoque de nutrientes contidos na biomassa aérea. Nos dados obtidos neste ensaio, esta economia, ao descascar a árvore no campo, variou de 15% para o N até 60% para o Mg, com um valor médio de 32% de economia de nutrientes com relação aos estoques contidos na biomassa aérea. No balanço não foram incluídos os dados de raiz assim como os nutrientes já liberados da serapilheira, além do estoque de nutrientes do solo.

Os efeitos do descascamento das árvores no campo também foram constatados por HOPMANS, STEWART e FLINN (1993) concluindo que a remoção de nutrientes pela colheita da madeira de uma floresta de eucalipto representa geralmente uma pequena porcentagem da reserva disponível no solo. Por sua vez, o conteúdo na casca é alto quando comparado ao da madeira, podendo reduzir ainda mais a exportação de nutrientes do campo.

Na Figura 15, é mostrada a relação entre a quantidade de nutrientes que é exportada (cerne + alburno) em relação a que permaneceu no sítio (estoque de serapilheira + casca, folhas e galhos das árvores) por tratamento.

FIGURA 15. QUANTIDADE DE N, P, K, Ca E Mg EXPORTADA NA COLHEITA DA MADEIRA E REMANESCENTE NO SÍTIO (ESTOQUE) PARA CADA TRATAMENTO AOS 86 MESES.



Verificou-se, neste balanço de nutrientes, que as parcelas que receberam lixo orgânico compostado (tratamento 3) apresentaram as maiores quantidades de nutrientes no sítio, considerando o total na biomassa aérea arbórea e na serapilheira, e possuíram também os maiores estoques de nutrientes, após a exploração da área, com exceção somente de Mg, que foram maiores na parcela com calcário. Em comparação com a testemunha (tratamento 4), estes estoques representam a mais, aproximadamente 21% para o N, 31% para o P, 36% para o K, 49% para o Ca e 18% para o Mg, valores estes que poderão contribuir significativamente para a manutenção da produtividade do sítio nas próximas rotações.

Uma outra contribuição para a entrada de nutrientes e reposição de parte do que foi exportado do sítio na colheita da madeira é a da água de chuva. A quantificação de nutrientes da água de chuva realizada neste ensaio entre os 30 e os 54 meses de idade (Tabelas 33 e 34 do item 4.6.2), permitiu estimar as entradas de nutrientes para o ciclo completo. Para avaliar a contribuição da água de precipitação a céu aberto (PT), livre do contato com a copa das

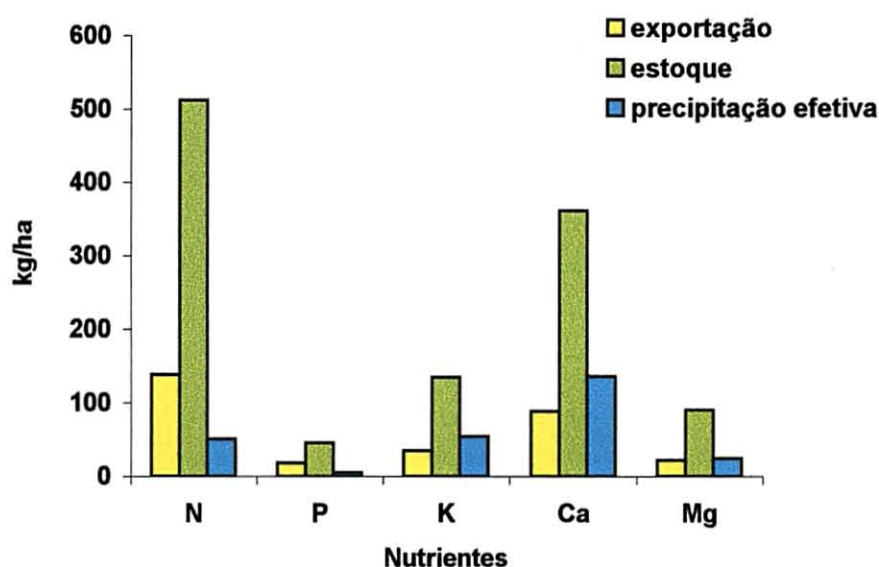
árvores, para com as entradas de nutrientes no sítio, utilizou-se os dados de 24 meses do monitoramento e uma estimativa das entradas de nutrientes para os 62 meses restantes por meio da precipitação média na região de 1468 mm e da concentração média de nutrientes na água de chuva encontrada neste período.

Deste modo, durante os 86 meses do ciclo florestal, a estimativa da entrada de nutrientes pela água de precipitação total (PT) seria de 51,9 kg/ha de N; 5,1 kg/ha de P; 26,0 kg/ha de K; 59,2 kg/ha de Ca e 9,3 kg/ha de Mg, representando uma reposição em valores absolutos com relação ao que saiu do sítio na colheita da madeira, como, por exemplo, para o tratamento 3 (lixo orgânico compostado), de aproximadamente 37% de N, 28% do P, 74% do K, 67% do Ca e 42% do Mg.

Por outro lado, se considerarmos o fluxo de nutrientes pela água de precipitação efetiva, após a passagem pela copa das árvores, ainda para o tratamento 3, nos 24 meses de avaliação, e uma estimativa para os 62 meses restantes, verifica-se que as quantidades durante os 86 meses seriam, em valores absolutos, de 21,5 kg/ha de N, 4,4 kg/ha de P, 55,9 kg/ha de K, 139,3 kg/ha de Ca e 25,2 kg/ha de Mg e representariam, com relação ao que saiu do sítio na colheita da madeira, 15% de N, 24% do P, 160% do K, 157% do Ca e 115% do Mg.

Nesta estimativa do total de nutrientes pela precipitação verificou-se com relação ao N e ao P, uma diminuição na quantidade de nutrientes quando do fluxo pela água de precipitação efetiva comparando-se com a entrada pela precipitação livre das copas. Como foi visto anteriormente, no caso do N é devido à absorção direta deste elemento presente na água da chuva pela copa das árvores, e, portanto, considerou-se os dados da chuva livre, seguindo-se o mesmo procedimento para a estimativa da quantidade de P sendo os dados destas estimativas mostrados na Figura 16.

FIGURA 16. QUANTIDADE DE N, P, K, Ca E Mg EXPORTADA E REMANESCENTE NO SÍTIO (ESTOQUE) PARA O TRATAMENTO QUE RECEBEU LIXO URBANO COMPOSTADO E O FLUXO DE NUTRIENTES PELA PRECIPITAÇÃO EFETIVA PARA OS 86 MESES DO CICLO FLORESTAL.



Desta maneira, no processo de precipitação efetiva (precipitação interna + escoamento pelo tronco), as quantidades de K, Ca e Mg são ainda maiores do que as da água de precipitação livre das copas das árvores e provavelmente estariam repondo ainda mais as perdas pela colheita da madeira. Contudo, nestas coletas de água, após a interceptação da chuva pelas copas das árvores, não houve uma separação dos nutrientes relativos a lavagem da poeira retida pela copa, dos liberados pela própria árvore por meio da exsudação de folhas, galhos e casca. Portanto, não se pode assegurar que as quantidades de nutrientes na água de precipitação efetiva seriam, em sua totalidade, entradas de nutrientes no sítio, pois partes destes podem corresponder à ciclagem interna de nutrientes.

Estes resultados, mesmo não se levando em conta as perdas de nutrientes no solo por erosão, lixiviação e volatilização, reforçam a afirmação de EVANS (1999), de que sob certas condições, a exportação de nutrientes na exploração florestal pode ameaçar a sustentabilidade do sítio, mas normalmente, os cuidados mais importantes para manter a qualidade do sítio referem-se às operações de colheita da madeira, à conservação da matéria orgânica e ao manejo da cobertura vegetal remanescente no solo.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de lixo urbano orgânico compostado associada à adubação mineral em Neossolo Quartzarênico Órtico contribuiu para o aumento da produtividade de *E. grandis* com um ganho de 45,6% no volume cilíndrico de madeira e de 36,9% na biomassa (cerne + alburno) aos 86 meses de idade.

O solo após 86 meses da aplicação de lixo urbano compostado revelou melhores condições hídricas no final da rotação, apresentando na camada de 0 a 10 cm de profundidade um volume de água disponível para as plantas, de 13% a 25% superior aos dos tratamentos que somente receberam fertilizantes minerais.

A aplicação do lixo urbano orgânico compostado no solo reduziu o tempo de decomposição da serapilheira, em média de 28% para folhas e de 16% para galhos, o que possivelmente contribuiu para aumento da disponibilidade de nutrientes no ecossistema florestal.

A avaliação de nutrientes nas parcelas do ensaio aos 86 meses mostrou que as árvores do tratamento com lixo urbano orgânico compostado, mesmo acumulando as maiores quantidades de N, P, K e Ca no tronco, deixaram no campo, após a exploração da área, maiores estoques destes nutrientes nos resíduos vegetais, que poderão contribuir significativamente para a manutenção da produtividade do sítio.

A chuva contribuiu com entradas significativas de nutrientes no sítio constituindo-se em importante fonte de reposição de nutrientes ao longo do ciclo florestal.

O descascamento da árvore no campo durante a colheita representou em média uma economia de 32% do estoque de nutrientes da biomassa aérea, e associado a manutenção da serapilheira no solo constituem práticas importantes para aumentar o estoque de nutrientes para as próximas rotações.

REFERÊNCIAS

- ALBALADEJO, J.; STOKING, M.; DIAZ, E.; CASTILLO, V. Land rehabilitation on by urban refuse amendments in a semi-arid environments: effects on soil chemical properties. *Soil Technology*, Amsterdam, v. 7, n. 3, p. 249-260, 1994.
- ALCOFORADO, P. A. U. G.; TRINDADE, A. V. Efeito do composto de lixo urbano nos teores de metais e outras características químicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Resumos**. Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.3, p. 307-308.
- ALVES, W. L.; MELO, W. J.; FERREIRA, M. E. Urban waste compost effects on sandy soil and sorghum plants. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 729-736, 1999.
- ALVES, W. L.; PASSONI, A. A. Composto e vermicomposto de lixo urbano na produção de mudas de oiti (*Licania tomentosa* (Benth)) para arborização. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 10, p. 1053-1058, 1997.
- ANDRADE, G. de C.; MARTINEZ, C. M.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J. Efeito da aplicação de residuo fosfatado e residuo de celulose no crescimento inicial de *Eucalyptus dunnii*. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 136-139.
- ANDRADE, G. de C.; SILVA H. D. da; FERREIRA, C. A.; BELLOTE, A. F. J. Contribucion del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para el *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 47-51, 1995.
- ARCOVA, C.S.; CICCIO, V. De. Fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha-SP. *Boletim Técnico do IPEF*, São Paulo, v.41, n.1, p.37-58, 1987.
- BAZZOFFI, P.; PELLEGRINI, S.; ROCCHINI, A.; MORANDI, M.; GRASSELLI, O. The effect of urban refuse compost and different tractors tyres on soil physical properties soil erosion and maize yield. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 48, p. 275-86, 1998.
- BELLOTE, A. F. J. Nährelementversorgung und Wuchsleistung von gedüngten *Eucalyptus grandis* – plantagen im cerrado von São Paulo (Brasilien). Freiburg, 1990. 160 f. Tese (Doutorado) – Albert Ludwigs- Universität.

- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167-187.
- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicacion de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n.1, p. 95-100, 1995.
- BENGTSON, G.W.; CORNETTE, J.J. Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine: Effects on soil and trees. **Journal Environmental Quality**, v.2, p.441-444, 1973.
- BERGAMIN, F. N.; ZINI, C. A.; GONZAGA, J. V.; BORTOLAS, A. Resíduo de fábrica de papel e celulose: lixo ou produto? In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p.97-120.
- BLOISE, R. M.; MOREIRA, G. N. C.; DYNIA, J. F. **Métodos de análise de solos e calcários**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 32 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 55).
- BOUILLET, J.P.; NZILA, J.D.; LACLAU, J.P.; RANGER, J. Effects of site management on *Eucalyptus* plantations in the Equatorial Zone, on the Coastal Plains of the Congo. **Workshop Proceedings** (1999). Eds. NAMBIAR, E.K.S.; TIARKS, A; COSSALTER, C.; RANGER, J. Kerala, Bogor: Center for international Forestry Research, p.11-20, 2000.
- BRINSON, M. M.; BRADSHAW, H. D.; HOLMES, R. N.; ELKINS, J. B. J. Litterfall, stemflow and throughfall nutrient fluxes in an alluvial swamp forest. **Ecology**, Durham, v. 61, n. 4, p. 827-835, 1980.
- CABRERA, F.; DIAZ, E.; MADRID, L. Effect of using urban compost as manure on soil contents of some nutrients and heavy metals. **Journal Food Agricultura**, v.47, n.1, p.159-169, 1989.
- CABRERA, F.; MURILLO, J. M.; LOPEZ, R.; HERNANDEZ, J. M. Fate of phosphorus added with urban compost to a calcareous soil. **Journal of a Environmental Science and Health**, New York, v. 26, n. 1, p. 83-97, 1991.
- CADILON, M.; LACASSI, J. C.; BELVAUX, E. Consideration of the role of compost from organic urban waste for the development and maintenance of saline soils. REGIONAL SYMPOSIUM, 1999, Irbid. **Proceedings**, 1999. p. 465-471, 1999.
- CAMACHO-HERNANDEZ, Y.; FONSECA-GONÇALEZ, W.; PANIAGUA-VASQUEZ, A. Response of bullywood (*Terminalia amazonia*) to the application of organic fertilizer in the nursery. **Revista Forestal Centroamericana**, Turrialba, n. 29, p. 10-13, 2000.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; GURIDI, F.; RUMJANEK, U. M.; FREIRG, R. B. Compostos heterocíclicos nitrogenados em ácidos húmicos extraído de composto de residuo sólido urbano. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 1-7, 1999.
- CARLISLE, A.; BROWN, A.H.F.; WHITE, E.J. 1966. The nutrient content of tree stem flow and ground flora litter and leachates in a sessile oak (*Quercus petraea*) woodland. **Journal of Ecology**, 55:615-627.

- CHAPMAN-KING, R.; HINCKLEY, T.M.; GRIER, C.C. Growth response of forest trees to wastewater and sludge application. In: COLE, D.W.; HENRY, C.L.; NUTTER, W.L. (Ed.). **The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes**. Washington: University of Washington-Press, 1986. 582p.
- CHASSIN, P. Valorification of organic wastes and soil conservation. **Probleme de Agrofitotehnie Teoretica si Aplicata**, v. 14, n. 3/4, p. 101-115, 1992.
- COSTA, C. A. D. A.; CASALI, V. W. D.; LOURES, E. G.; CECON, P. R.; JORDAO, C. P. Teor de zinco, cobre e cadmio em cenoura em função de doses crescentes de composto de lixo urbano. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 10-14, 1997.
- CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M. F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 22, p. 247-253, 1998.
- CROMER, R. N.; CAMERON, D.; CAMERON, J. N.; FLINN, D. W.; NEILSEN, W. A.; RAUPACH, M.; SNOWDON, P.; WARING, H. D. Response of eucalypt species to fertiliser applied soon after planting at several sites. **Australian Forestry**, v. 44, n.1, p. 3-13, 1981.
- DIAS-BARRIENTOS, E.; MADRID, L.; CARDO, I.; MICHALKE, B.; SCHRAMEL, P. Influence of the addition of organic wastes on the metal contents of a soil. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, Berlin, v. 363, n. 5/6, p. 558-561, 1999.
- DIAZ, E.; ROLDAN, A.; LAX, A.; ALBALADEJO, J. Formation of a stable aggregates in a degraded soil by amendment with urban refuse and peat. **Geoderma**, Amsterdam, v. 63, n. 3/4, p. 277-288, 1994.
- DIONISIO, J. A. **Atividades microbianas em diferentes sistemas de cultivo de Eucalyptus grandis (W. Hill ex Maiden)**. Curitiba, 1996. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná.
- EILERS, G.; BRUMME, R.; MATZNER, E. 1992. Above-ground N-uptake from wet deposition by Norway spruce (*Picea abies* Karst.), **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 51:239-249.
- ELLIOTT, L.F.; STEVENSON, F.J. **Soil for management of organic wastes and waste waters**. Madison, Eds. ELLIOTT, L.F.; STEVENSON, F.J., 1977. 650 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. revista e atualizada. Rio de Janeiro: *Embrapa Solos*, 1997. 212p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação: Rio de Janeiro: *Embrapa Solos*, 1999. 412p.: il.
- EVANS, J. **Sustainability of forest plantations: the evidence: a review concerning the narrow-sense sustainability of planted forests**. 1999. 64 p.
- FABRES, A. S.; COUTO, C.; CONCEIÇÃO, D. A. Uso de residuo industrial em florestas. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p.121-140.

FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. de C.; MAIA, C. M. B. F.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; BOGNOLA, I. A. Efeito da aplicação de resíduo de celulose e cinza de caldeira na deposição de nutrientes em talhões de *Eucalyptus grandis*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Anais**. Manaus, 1996. p. 488-489. Resumo expandido.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicacion de ceniza y resíduo de celulosa en la descomposicion y liberacion de nutrientes de la horajasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 101-104, 1995.

FERRO NETO, A. Solução regional para o aproveitamento do lixo urbano. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 157-163.

FORTES NETO, P.; BALLESTERO, S.D.; FORTES, N.L.P.; GADIOLI, J.; MONTEIRO, M.L.; ROMANO, F.C.; THIMOTEO, A.C.; INABA, R.M.; CEZAR, V.R.S.; CARNIERI, M. Efeitos de doses crescentes de composto de lixo no solo e em algumas culturas olerícolas. . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Anais**. Manaus, 1996. p. 417-418. Resumo expandido.

FRITZ, D.; VENTER, F. Heavy metals in some vegetable crops as influenced by municipal waste composts. **Acta Horticultural**, v.222, n.1, p.51-62, 1989.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. In: Stape, J.L. 4ª Reunião técnica sobre manejo de brotação de *Eucalyptus*, **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.11, n. 30, p. 89-94, 1997.

GELLI, D. S. Lixo domiciliar: aspectos relacionados com saúde pública. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 15-24.

GLÓRIA, N. A. Resíduos industriais como fonte de matéria orgânica. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO - PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1992. p. 129-148.

GONÇALVES, J. L. M. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS. 1., 1995, Curitiba. **Anais**. Piracicaba: IPEF, 1995. p. 43-60.

GONÇALVES, J.L.M.; SERRANO, M.I.P.; MENDES, K.C.F.S.; GAVA, J.L. Effects of site management in *Eucalyptus grandis* plantation in the Humid Tropics: São Paulo-Brasil. **Workshop Proceedings** (1999). Eds. NAMBIAR, E.K.S.; TIARKS, A; COSSALTER, C.; RANGER, J. Kerala, Bogor: Center for international Forestry Research, p.3-10, 2000a.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In : GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000b, 427 p.

GROSSI, M. G. L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas.** São Paulo, 1993. 222 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais.** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 188-215.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; EIRA, A. F.; PENATTI, A. TOLEDO, C. M.; MATSUMOTO, R. W.; MACHADO, R. W.; MELLO, S. L. M. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. **Científica**, São Paulo, v. 22, n.1, p. 43-51, 1994.

HASSELGREN, K. Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15 years of experience Department of Civil Works, Svalöv Municipality, S-268 80 Svalöv, Sweden. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 71-74, 1998.

HENDRY, C.D.; BERISH, C.W.; EDGERTON, E.S. Precipitation chemistry at Turrialba, Costa Rica. **Water Resources Research**, v.20, n.11, p.1677-1684, 1984.

HENRY, C. L. Growth response, mortality, and foliar nitrogen concentrations of four tree species treated with pulp and paper and municipal sludges. In: COLE, D. W.; HENRY, C. L.; NUTTER, W. L. **The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes.** Seattle: University of Washington Press, 1986. 582 p.

HENRY, C. L.; COLE, D. W.; COWE, A. T.; SMITH, C. T. Use of biosolids in the forest: tecnology, economics and regulations. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v. 13, n. 4/5, p. 269-277, 1997.

HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; COSTA, F.; VALERO, J. A.; AYUSO, M. Use of municipal wastes as organic fertilizers. **Suelo e Planta**, Madrid, v. 2, n. 3, p. 373-383, 1992.

HOPMANS, P.; STEWART, H. T. L.; FLINN, D. W. Impacts of harvesting on nutrients in a eucalypt ecosystem in Southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 59, n. 1/2, p. 29-51, 1993.

HORTENSTINE, C. C.; ROTHWELL, D. F. Garbage compost as a source of plant nutrients for oats and radishes. **Compost Science**, Emmaus, v. 9, n. 2, p. 23-25, 1968.

JAHNEL, M. C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Maturidade de composto de lixo urbano. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 301-304, 1999.

JONES, H. E.; MADEIRA, M.; HERRAEZ, L.; DIGHTON, J.; FABIAO, A.; GONZALEZ, R. F.; MARCOS, M. F.; GOMES, C.; TOME, M.; FEITH, H.; MAGALHÃES, M. C.; HOWSON, G.; PROG, M.; SMITH, C. T.; LOWE, A. T. The effect of organic-matter management on the productivity of *Eucalyptus globulus* stands in Spain and Portugal : tree growth and harvest residue decomposition in relation to site and treatment. Paper presented at the IEA Bioenergy task XII WorkShop, Eddleston, Scotland, Setembro, 1997. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 122, n. 1/2, p. 73-86. 1999.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

- KOTZE, W.; JOUBERT, M. Compost and organic mulches in deciduous fruit production. **Deciduous Fruit Grower**, Bellville, v. 42, n. 3, p. 93-96, 1992.
- LACLAU, J.P.; RANGER, J.; NZILA, J. De D.; BOUILLET, J.P. Nutrient cycling in a short rotation *Eucalyptus* plantation and an adjacent savanna in Congo. **Workshop Proceedings** (1999). Eds. NAMBIAR, E.K.S.; TIARKS, A; COSSALTER, C.; RANGER, J. Kerala, Bogor: Center for international Forestry Research, p.95-99, 2000.
- LE TACON, F., BOUCHARD, D.; GARBAYE, J. Increase in initial growth of ash (*Fraxinus excelsion*) by the spreading of slurry from na urban sewagew treatment plant and by interplanting of white alder (*Alnus incana*). **Revue Forestiere Française**, Nancy, v. 40, n. 2, p. 117-125, 1988.
- LIMA, J. S.; LICHTIG, J.; OLIVEIRA, E.; MENK, J. R. F. Hortaliças cultivadas com composto orgânico de lixo urbano não apresentam contaminação com metais pesados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 46, n. 268, p. 571-585, 1999.
- LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2 ed., 1993. 302 p.
- LIMA, W. P.; BARBIN, D. Efeito de plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre a qualidade da água da chuva. **IPEF**, Piracicaba, n. 11, p. 23-35, 1975.
- LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, J. S.; LIBARDI, P. L.; ANJOS, A. R. M. **Utilização de lodo de esgoto no sistema de produção de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth): desempenho e conseqüências**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 105 p. Relatório técnico de projeto.
- MCCALLA, T. M.; PETERSON, J. R.; LUE-HING, C. Properties of agricultural and municipal wastes. In: ELLIOTT, L. F.; STEVENSON, F. J. **Soil for management of organic wastes and waste waters**. Madison, 1977. 650 p.
- MCDONALD, M. A.; HAWKINS, B. J.; PRESOCOTT, C. E.; KIMMINS, J. P. Growth and foliar nutrition of western red cedar fertilized with sewage sludge, pup sludge, fish silage, and wood ash on northern Vancouver Island. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 24, n. 2, p. 297-301, 1994.
- MIEGROET, H. van; BOSTON, H. L.; JOHNSON, D. W. Environmental and plant effects of sewage sludge application to forests and pastures. **Proceedings. Annual Madison Wast Conference**, Madison, n. 12, p. 329-352, 1989.
- MURILLO, J. M.; CABRERA, F. ; HERNENDEZ, J. M.; BARROSO, M. Effect of successive applications of urban compost on soil potassium availability. **Suelo y Planta**, Madrid, v. 1, n. 4, p. 653-662, 1991.
- NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427 p.
- O'CONNELL, A.M.; GROVE, T.S.; MENDHAM, D.; RANCE, S.J. Effects of site management in Eucalypt plantation in the Southwestern Australia. **Workshop Proceedings** (1999). Eds. NAMBIAR, E.K.S.; TIARKS, A; COSSALTER, C.; RANGER, J. Kerala, Bogor: Center for international Forestry Research, p.61-72, 2000.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Levantamento pedológico do estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 64 p.: mapa il. (esc. 1 : 500.000).

OLIVEIRA, L. B.; LIMA, J. P. C.; FERREIRA, A. M. M. Loteria da coleta seletiva proposta para o município de Teresópolis - RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 1-7, 1999.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v.44, p.322-331, 1963.

PAGLIAI, M.; ANTISARI, L. V. Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 205-213, 1993.

PANDE, M. C.; TANDON, V. N.; SHANKER, P. P. Distribution of nutrients in an age series of *Eucalyptus* and *Acacia auriculaeformis* plantations in Bihar. **Indian Forester**, Dehra Dun, v.113, p. 418-426, 1987.

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. Lasting microbiological and biochemical effects on the addition of municipal solid waste to an arid soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, n. 1/2, p. 1-6, 1999.

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; AYUSO, M. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 24, p. 429-434, 1997.

PÉREZ, D.V.; MENEGUELLI, N. A.; BARRADAS, C. A. A.; MACEDO, J. R. Aplicação do composto de lixo urbano em solo cultivado com cenoura (*Daucus carota*, L.). . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Anais**. Manaus, 1996. p. 66-67. Resumo expandido.

PÉREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. A.; BARRADAS, C. A. A.; MACEDO, J. R. Uso de composto de lixo em solo cultivado com *Eucalyptus urograndis*. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 168-170.

PERTTU, K.L. Biomass production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters. **Journal of Sustainable Forestry**, v.1, n.3, p.57-70, 1993.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z.; SUITER FILHO, W. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 23, p.37-42, 1983.

POTTER, C. S.; RAGSDALE, H. L.; SWANK, W. T. Atmospheric deposition and foliar leaching in a regenerating southern appalachian forest canopy. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 79, p. 97-115, 1991.

QUADROS, R. M. B. **Avaliação nutricional em plantios de *Eucalyptus grandis*, em diferentes solos, no estado de São Paulo**. Curitiba, 1996. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim Técnico Instituto Agrônômico de Campinas**, Campinas, n. 81, p. 1-31, 1983.

RICE, E.L. Allelopathy and uptake. **The Botanical Reiw**, v.45, p.105-109, 1979.

ROYL, M.; COVILLARD, D. Metal leaching following sludge application to a deciduous forest soil. **Water Research**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 1642-1652, 1998.

- SANKARAN, K.V.; CHACKO, K.C.; PANDALAI, R.C.; KALLARACKAL, J.; SOMEN, C.K.; SHARMA, J.K.; BALAGOPALAN, M.; BALASUNDARAN, M.; KUMARASWAMY, S.; SANKAL, S.; GILKES, R.J.; GROVE, T.S.; MENDHA, M.D.; O'CONNELL, A.M. Effects of site management on *Eucalyptus* plantations in the monsoonal tropics – Kerala, India. **Workshop Proceedings** (1999). Eds. NAMBIAR, E.K.S.; TIARKS, A.; COSSALTER, C.; RANGER, J. Kerala, Bogor: Center for International Forestry Research, p.51-60, 2000.
- SANTOS, I. C.; CASALI, V. W. D.; MIRANDA, G. V. Comportamento de dez cultivares de alface adubadas com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 157-161, 1998.
- SANTOS, I. C.; VICENTE, W. D. C.; MIRANDA, G. V. Teores de metais pesados, Fe e Na, no substrato em função de doses de composto orgânico de lixo urbano e de cultivares de alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 415-421, 1999.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56 p.
- SCHEINBERG, J. Production and use of compost from urban wastes in arid and semi-arid climates: the development of the Negev desert and the environment. **Fresenius Environmental Bulletin**, Berlin, v. 4, n. 9, p. 564-569, 1995.
- SCHLESINGER, W.H. Community structure, dynamics and nutrient cycling in the okefenokee cypress swamp-forest. **Ecological Monographs**, v.48, p.43-65, 1978.
- SETTERGREN, C. D.; TURNER, J. A.; HANSEN, W. F. The use of sewage effluent irrigation techniques at large recreational developments. In: SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS. **Forestry issues in urban America: proceedings...** Washington, 1975. p. 272-282.
- SEVA, J. P.; VILAGROSA, A.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; VALLEJO, V. R.; BELLOT, J. Mycorrhization and application of urban compost for the improvement of survival and growth of *Pinus halepensis* seedlings under semiarid conditions. **Proceedings. CIHEAM Working Group Seminar**, Zaragoza, v.20, p. 87-104, 1996a.
- SEVA, J. P.; VILAGROSA, A.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; VALLEJO, V. R.; BELLOT, J. Mycorrhization and application of urban compost for the improvement of survival and growth of *Quercus ilex* subsp. *Ballota* seedlings in an arid zone. **Proceedings. CIHEAM Working Group Seminar**, Zaragoza, v. 20, p. 105-121, 1996b.
- SILVA, H.D. da. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero Eucalyptus, plantados em solo de baixa fertilidade**. Piracicaba, 1983. Tese (Mestrado). ESALQ. Universidade de São Paulo.
- SILVA, H. D. da. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de Eucalyptus grandis Hill (ex-Maiden) em diferentes idades**. Curitiba, 1996. 101 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.
- SMITH, W. H.; EVANS, J. O. Special opportunities and problems in using forest soils for organic waste application. In: ELLIOTT, L. F.; STEVENSON, F. J. **Soil for management of organic wastes and waste waters**. Madison, 1977. 650 p.
- SMITH, W. H.; POST, D. M. Organic municipal waste disposal in a slash pine plantation. **Agronomy Abstracts**, Madison, p. 178, 1974.

- SOPPER, W. E.; KARDOS, L. T. Effects of municipal wastewater disposal on the forest ecosystem. **Journal of Forestry**, Washington, v. 70, p. 540-545, 1972.
- SOPPER, W. E.; SAGMULLER, L. J. Forest vegetation growth responses to irrigation with municipal sewage effluent. In: CONGRESSO PAN AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, **Anais**. São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, p.639-647, 1966.
- SORENSEN, L.H. The influence of clay on the rate decay of amino acid metabolite synthesized in soils during the composition of cellulose. **Soil Biology Biochem**, Oxford, v.7, p.171-177, 1975.
- SORT, X.; ALCANIZ, J.M. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. **Soil & Tillage Research**, v.49, p.337-345, 1999.
- SOUZA, C.M.; FIGUEIREDO, M.S.; COSTA, L.M.; GALVÃO, J.C.C. Uso do lodo primário da indústria de celulose e papel em povoamentos de Eucalipto. . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Anais**. Manaus, 1996. p. 537-538. Resumo expandido.
- SWITZER, G.L.; NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: the first years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.36, p.143-147, 1972.-
- THOMAS, G.W. Land utilization and disposal of organics wastes in hot, humid regions. In: ELLIOTT, L. F.; STEVENSON, F. J. **Soil for management of organic wastes and waste waters**. Madison, 1977. 650 p.
- TRINDADE, A. V.; DIAS, A. C. P.; JUCFSCH, I. Efeito de resíduos urbanos e de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de capim-gordura *Melinis minutiflora* e de cedro *Cedrela fissilis* em rejeito de mineração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, p. 575-582, 1997.
- TURNER, J.; Relationships between soil nutrients and vegetation in a North Coast Forest, New South Wales. **Australian Forest Research**, East Melbourne, v.11, p.201-208, 1981.
- VAN HOOK, R. I.; JOHNSON, D. C.; WEST, D. C.; MANN, L. K. Environmental effects of harvesting forests for energy. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 4, p. 79-94, 1982.
- ZEN, S.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A. Resíduos urbanos como fonte de nutrientes em povoamentos de eucalipto. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p.25-40.

ANEXO

ANEXO

TABELA 1. BIOMASSA AÉREA TOTAL ARBÓREA (ton/ha), POR TRATAMENTO / BLOCO, NA IDADE DO CORTE (86 MESES).

Trat*.	Biomassa aérea arbórea (ton/ha) / bloco							Média
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
1	98,22	106,31	115,82	111,92	113,36	113,17	116,09	110,70
2	107,24	165,65	158,42	154,58	134,67	122,95	130,95	139,21
3	162,64	224,11	184,13	177,97	151,48	188,13	170,40	179,84
4	102,56	165,85	117,23	128,36	162,42	119,55	123,26	131,32

*trat 1 = adubação química 1; trat.2 = calcário + adubação química 2; trat.3 = lixo urbano + adubação química 2; trat.4 =adubação química 2.

TABELA 2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE N NA CASCA DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	405,4498	202,7249	1,0469	0,40909
Tratamento	3	1321,2169	440,4056	2,2743	0,18000
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	512,5696	512,5696	2,6469	0,15319
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	804,8073	804,8073	4,1561	0,08597
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	3,8399	3,8399	0,0198	0,88738
Resíduo	6	1161,8732	193,6455		
Total	11	2888,5400			

Média geral = 64,78 kg/ha; coeficiente de variação = 21,5%.

TABELA 3. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE P NA CASCA DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	13,4942	6,7471	1,1655	0,37469
Tratamento	3	45,8753	15,2918	2,6415	0,14374
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	18,9225	18,9225	3,2686	0,11886
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	26,9378	26,9378	4,6532	0,07284
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0150	0,0150	0,0026	0,96011
Resíduo	6	34,7346	5,7891		
Total	11	94,1042			

Média geral = 12,30 kg/ha; coeficiente de variação = 19,6%.

TABELA 4. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTÚDO DE K NA CASCA DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	73,4313	36,7157	1,1643	0,37502
Tratamento	3	249,5547	83,1849	2,6379	0,14404
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	102,9210	102,9210	3,2637	0,11909
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	146,5472	146,5472	4,6472	0,07299
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0864	0,0864	0,0027	0,95899
Resíduo	6	189,2084	31,5347		
Total	11	512,1943			

Média geral = 28,70 kg/ha; coeficiente de variação = 19,6%.

TABELA 5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Ca NA CASCA DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	4518,7082	2259,3541	1,9438	0,22316
Tratamento	3	11223,860	3741,2868	3,2188	0,10393
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	2279,2669	2279,2669	1,9609	0,20973
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	8596,6641	8596,6641	7,3960	0,03388
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	347,92950	347,92950	0,2993	0,60779
Resíduo	6	6974,0229	1162,3371		
Total	11	22716,592			

Médias por trat. em kg/ha : trat.1= 67,96; trat.2= 114,03; trat.3= 129,26; trat.4= 56,08.

Média geral = 91,83 kg/ha; coeficiente de variação = 37,1%.

TABELA 6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Mg NA CASCA DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	636,2771	318,1386	1,2962	0,34110
Tratamento	3	1216,4978	405,4996	1,6522	0,27441
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	754,6925	754,6925	3,0750	0,12829
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	294,1122	294,1122	1,1983	0,31648
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	167,6931	167,6931	0,6833	0,55564
Resíduo	6	1472,5861	245,4310		
Total	11	3325,3610			

Média geral = 45,63 kg/ha; coeficiente de variação = 34,3%.

TABELA 7. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE N NAS FOLHAS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	4031,860	2015,930	1,0464	0,40926
Tratamento	3	13143,772	4381,257	2,2741	0,18003
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	5098,91	5098,91	2,6466	0,15321
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	8006,61	8006,61	4,1558	0,08598
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	38,25	38,25	0,0199	0,88731
Resíduo	6	11559,721	1926,620		
Total	11	28735,353			

Média geral = 204,34 kg/ha; coeficiente de variação = 21,5%.

TABELA 8. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE P NAS FOLHAS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	25,1796	12,5898	1,0484	0,40864
Tratamento	3	82,0499	27,3500	2,2775	0,17964
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	31,8472	31,8472	2,6520	0,15286
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	49,9667	49,9667	4,1608	0,08583
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,2360	0,2360	0,0197	0,88788
Resíduo	6	72,0538	12,0090		
Total	11	179,2834			

Média geral = 16,14 kg/ha; coeficiente de variação = 21,5%.

TABELA 9. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE K NAS FOLHAS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	317,5971	158,7985	1,0458	0,40942
Tratamento	3	1035,8329	345,2777	2,2739	0,18004
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	401,8689	401,8689	2,6467	0,15321
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	630,9536	630,9536	4,1554	0,08599
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	3,0104	3,0104	0,0198	0,88739
Resíduo	6	911,0432	151,8405		
Total	11	2264,4733			

Média geral = 57,36 kg/ha; coeficiente de variação = 21,5%.

TABELA 10. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Ca NAS FOLHAS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	241,2060	120,6030	1,0461	0,40935
Tratamento	3	786,1224	262,0408	2,2728	0,18017
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	304,9680	304,9680	2,6452	0,15330
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	478,8480	478,8480	4,1533	0,08605
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	2,3064	2,3064	0,0200	0,88688
Resíduo	6	691,7534	115,2922		
Total	11	1719,0819			

Média geral = 49,98 kg/ha; coeficiente de variação = 21,5%.

TABELA 11. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Mg NAS FOLHAS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	7,3517	3,6759	1,0475	0,40891
Tratamento	3	23,9508	7,9836	2,2750	0,17992
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	9,3025	9,3025	2,6509	0,15293
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	14,5800	14,5800	4,1548	0,08600
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0683	0,0683	0,0195	0,88845
Resíduo	6	21,0553	3,5092		
Total	11	52,3578			

Média geral = 8,72 kg/ha; coeficiente de variação = 21,5%.

TABELA 12. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE N NOS GALHOS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	136,2605	68,1302	2,9996	0,12478
Tratamento	3	483,7565	161,2522	7,0995	0,02183
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	292,182	292,182	12,8640	0,01169
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	82,5184	82,5184	3,6331	0,10355
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	109,056	109,056	4,8015	0,06946
Resíduo	6	136,2786	22,7131		
Total	11	756,2956			

Média geral = 23,67 kg/ha; coeficiente de variação = 20,1%.

TABELA 13. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE P NOS GALHOS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	5,5251	2,7626	3,0157	0,12378
Tratamento	3	20,1606	6,7202	7,3361	0,02033
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	12,2733	12,2733	13,3981	0,01077
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	3,4497	3,4497	3,7658	0,09865
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	4,4376	4,4376	4,8443	0,06853
Resíduo	6	5,4963	0,9160		
Total	11	31,1821			

Média geral = 4,86 kg/ha; coeficiente de variação = 19,7%.

TABELA 14. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE K NOS GALHOS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	87,4440	43,7220	3,0072	0,12431
Tratamento	3	298,8546	99,6182	6,8517	0,02357
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	178,490	178,490	12,2765	0,01285
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	51,005	51,005	3,5081	0,10848
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	69,360	69,360	4,7706	0,07015
Resíduo	6	87,2350	14,5392		
Total	11	473,5336			

Média geral = 18,41 kg/ha; coeficiente de variação = 20,7%.

TABELA 15. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Ca NOS GALHOS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	161,6701	80,8350	2,9977	0,12490
Tratamento	3	590,0613	196,6871	7,2939	0,02059
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	359,039	359,039	13,3146	0,01090
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	100,915	100,915	3,7423	0,09950
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	130,107	130,107	4,8249	0,06895
Resíduo	6	161,7955	26,9659		
Total	11	913,5269			

Média geral = 26,33 kg/ha; coeficiente de variação = 19,7%.

TABELA 16. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Mg NOS GALHOS DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	10,5618	5,2809	2,9921	0,12525
Tratamento	3	38,5829	12,8609	7,2869	0,02063
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	23,4740	23,4740	13,3001	0,01093
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	6,5884	6,5884	3,7329	0,09983
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	8,5204	8,5204	4,8276	0,06889
Resíduo	6	10,5897	1,7649		
Total	11	59,7344			

Média geral = 6,73 kg/ha; coeficiente de variação = 19,7%.

TABELA 17. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE N NO ALBURNO DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	565,6571	282,8285	2,4462	0,16684
Tratamento	3	16,34730	5,4491	0,0471	0,98498
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	2,4180	2,4180	0,0209	0,88435
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	9,8124	9,8124	0,0849	0,77583
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	4,1168	4,1168	0,0356	0,85004
Resíduo	6	693,7207	115,6201		
Total	11	1275,7251			

Média geral = 46,99 kg/ha; coeficiente de variação = 22,9%.

TABELA 18. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE P NO ALBURNO DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	27,6240	13,8120	1,8970	0,22964
Tratamento	3	73,1989	24,3997	3,3512	0,09692
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	17,3056	17,3056	2,3768	0,17251
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	12,8524	12,8524	1,7652	0,23134
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	43,0408	43,0408	5,9115	0,04988
Resíduo	6	43,6855	7,2809		
Total	11	144,5084			

Médias por trat. em kg/ha : trat.1= 8,04; trat.2= 7,29 trat.3= 12,65 trat.4= 12,50

Média geral = 10,12 kg/ha; coeficiente de variação = 26,7%.

TABELA 19. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE K NO ALBURNO DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	468,2481	234,1240	3,7857	0,08624
Tratamento	3	633,35401	211,1180	3,4137	0,09383
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	279,447	279,447	4,5185	0,07611
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	100,017	100,017	1,6172	0,24993
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	253,890	253,890	4,1053	0,08749
Resíduo	6	371,0694	61,8450		
Total	11	1472,6716			

Média geral = 20,08 kg/ha; coeficiente de variação = 39,2%.

TABELA 20. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Ca NO ALBURNO DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	190,6825	95,3413	14,1715	0,00606
Tratamento	3	123,2619	41,0873	6,1072	0,03012
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	93,9930	93,9930	13,9711	0,00989
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	27,0848	27,0848	4,0259	0,08994
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	2,1841	2,18407	0,3246	0,59356
Resíduo	6	40,3660	6,7277		
Total	11	354,3104			

Médias por trat. em kg/ha : trat. 1= 16,19; trat. 2= 23,28; trat. 3= 24,48; trat. 4= 20,20

Média geral = 21,04 kg/ha; coeficiente de variação = 12,3%.

TABELA 21. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Mg NO ALBURNO DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	2,0808	1,0404	0,1487	0,86446
Tratamento	3	22,5582	7,5194	1,0747	0,42881
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	5,1001	5,1001	0,7289	0,57005
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	14,6701	14,6701	2,0966	0,19642
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	2,7880	2,7880	0,3985	0,55567
Resíduo	6	41,9818	6,9970		
Total	11	66,6209			

Média geral = 11,72 kg/ha; coeficiente de variação = 22,6%.

TABELA 22. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE N NO CERNE DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	411,0151	205,5076	1,8885	0,23085
Tratamento	3	3209,9337	1069,9779	9,8323	0,01068
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	932,793	932,793	8,5717	0,02586
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	637,364	637,364	5,8569	0,05065
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	1639,776	1639,776	15,0684	0,00847
Resíduo	6	652,9347	108,8224		
Total	11	4273,8835			

Médias por trat. em kg/ha : trat. 1= 51,16; trat. 2= 60,94; trat. 3= 94,01; trat. 4= 59,62

Média geral = 66,43 kg/ha; coeficiente de variação = 15,7%.

TABELA 23. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE P NO CERNE DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	19,0444	9,5222	3,4884	0,09864
Tratamento	3	24,5814	8,1938	3,0018	0,11695
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	8,5167	8,5167	3,1200	0,12601
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	3,44977	3,44977	1,2638	0,30443
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	12,6150	12,6150	4,6214	0,07360
Resíduo	6	16,3780	2,7297		
Total	11	60,0038			

Média geral = 3,03 kg/ha; coeficiente de variação = 54,5%.

TABELA 24. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE K NO CERNE DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	4,4129	2,2064	4,1415	0,07399
Tratamento	3	9,7206	3,2402	6,0818	0,03039
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	1,1378	1,1378	2,1356	0,19282
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	1,3667	1,3667	2,5654	0,15868
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	7,2161	7,2161	13,5445	0,01053
Resíduo	6	3,1966	0,5328		
Total	11	17,3300			

Médias por trat. em kg/ha : trat.1= 3,15; trat.2= 5,23; trat.3= 3,04; trat.4= 3,31

Média geral = 3,68 kg/ha; coeficiente de variação = 19,8%..

TABELA 25. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Ca NO CERNE DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	505,3108	252,6554	1,7654	0,24929
Tratamento	3	2822,7413	940,9138	6,5744	0,02575
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	307,184	307,184	2,1464	0,19184
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	2496,653	2496,653	17,4448	0,00626
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	18,904	18,904	0,1321	0,72689
Resíduo	6	858,7046	143,1174		
Total	11	4186,7567			

Médias por trat. em kg/ha : trat.1= 39,73; trat.2= 61,42; trat.3= 64,97; trat.4= 27,86

Média geral = 48,49 kg/ha; coeficiente de variação = 24,7%.

TABELA 26. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE Mg NO CERNE DAS ÁRVORES DE *E. grandis* AOS 86 MESES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>f
Bloco	2	23,4085	11,7042	1,5008	0,29624
Tratamento	3	40,2565	13,4188	1,7206	0,26124
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	9,0100	9,0100	1,1553	0,32481
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	27,6272	27,6272	3,5425	0,10709
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	3,6193	3,6193	0,4641	0,52578
Resíduo	6	46,7927	7,7988		
Total	11	110,4578			

Média geral = 7,62 kg/ha; coeficiente de variação = 36,6%.

TABELA 27. CONTEÚDO TOTAL DE NUTRIENTES NAS ÁRVORES (kg/ha) E BIOMASSA TOTAL AÉREA PRODUZIDA (ton/ha), POR TRATAMENTO, AOS 86 MESES DE IDADE.

Tratamento	Repetição	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
1	1	98,22	318,92	34,96	97,03	188,13	66,32
1	2	111,92	345,84	35,84	101,46	198,23	64,56
1	3	116,09	343,69	37,73	94,21	159,59	49,46
2	1	107,24	308,04	38,29	103,70	210,42	57,31
2	2	154,58	500,86	56,72	171,92	303,27	115,54
2	3	130,95	515,31	47,71	150,09	336,36	123,49
3	1	162,64	394,42	53,36	112,63	245,31	74,61
3	2	177,97	546,19	69,09	206,52	350,95	100,34
3	3	170,40	523,38	51,71	164,37	345,41	98,04
4	1	102,56	405,61	52,32	129,56	215,08	80,94
4	2	128,36	333,16	43,89	109,86	155,29	69,08
4	3	123,26	339,15	35,94	97,41	144,03	65,43

TABELA 28. DECOMPOSIÇÃO, EXPRESSA EM PERDA DE PESO, DE FOLHAS DE *E. grandis*, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DIFERENTES TEMPOS DE PERMANÊNCIA NO SOLO.

Tempo (anos)	Folhas			
	Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	Trat. 4
0	25,7	23,2	27	24,4
0,167	22,2	25,8	23,6	24,5
0,334	22,9	19,6	21,3	19,7
0,499	18,2	20,7	17,1	19,5
0,666	20,9	16,7	15,6	18,8
0,844	19,3	15,4	14,7	17,2
1,014	16,9	15	13	13,9

TABELA 29. DECOMPOSIÇÃO, EXPRESSA EM PERDA DE PESO, DE GALHOS DE *E. grandis*, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DIFERENTES TEMPOS DE PERMANÊNCIA NO SOLO.

Tempo (anos)	Galhos			
	Trat.1	Trat.2	Trat.3	Trat.4
0	39,9	39,7	40,1	40,2
0,175	38,3	37,2	39,3	39,2
0,331	37,7	36,2	35,8	38,2
0,677	35,2	32,4	28,9	33,7
1,677	25,2	18	19,1	21,9

TABELA 30. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA DE CASCA DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,4447	0,2223	0,9888	0,60139
Tratamento	3	0,8013	0,2671	1,1878	0,35040
Horizonte orgânico	1	18,2278	18,2278	81,0581	0,00001
Tratamento x Horizonte	3	0,5958	0,1986	0,8832	0,52426
Resíduo	14	3,1482	0,2249		
Total	23	23,2178			

Média geral = 1,11 t/ha; coeficiente de variação = 42,7%.

TABELA 31. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA DE FOLHAS DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	1,8032	0,9016	0,9012	0,56885
Tratamento	3	0,1535	0,0511	0,0511	0,98362
Horizonte orgânico	1	101,5800	101,5800	101,5399	0,00001
Tratamento x Horizonte	3	0,6199	0,2066	0,2065	0,89007
Resíduo	14	14,0055	1,0004		
Total	23	118,1620			

Média geral = 4,86 t/ha; coeficiente de variação = 20,6%.

TABELA 32. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA DE GALHOS DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	8,5480	4,2740	2,6453	0,10483
Tratamento	3	7,1625	2,3875	1,4777	0,26296
Horizonte orgânico	1	193,5079	193,5079	119,7671	0,00001
Tratamento x Horizonte	3	3,0796	1,0265	0,6353	0,60748
Resíduo	14	22,6198	1,6157		
Total	23	234,9178			

Média geral = 4,67 t/ha; coeficiente de variação = 27,2%.

TABELA 33. BIOMASSA DE CASCA, FOLHAS E GALHOS DA SERAPILHEIRA, EM ton/ha, SEPARADA EM DOIS HORIZONTES ORGÂNICOS DO SOLO, POR TRATAMENTO, AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

H *	Tratamento 1			Tratamento 2			Tratamento 3			Tratamento 4		
	Casca	Folha	Galho	Casca	Folha	Galho	Casca	Folha	Galho	Casca	Folha	Galho
Ln	1,61 a	2,98 b	6,42 a	1,73 a	2,61 b	7,72 a	2,48 a	2,94 b	8,86 a	2,10 a	2,69 b	7,05 a
Lv	0,26 b	6,61 a	1,66 b	0,18 b	6,94 a	1,87 b	0,30 b	6,97 a	2,13 b	0,21 b	7,16 a	1,66 b

* H = horizonte orgânico do solo dividido em liter novo (Ln) e liter velho (Lv)

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância

TABELA 34. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA DE CASCA DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,8894	0,4447	0,9768	0,56860
Tratamento	3	1,6026	0,5342	1,1733	0,39580
Resíduo	6	2,7318	0,4553		
Total	11	5,2239			

Média geral = 2,22 t/ha; coeficiente de variação = 30,4%.

TABELA 35. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA DE FOLHAS DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	3,6062	1,8031	1,1293	0,38477
Tratamento	3	0,3069	0,1023	0,0641	0,97672
Resíduo	6	9,5799	1,5966		
Total	11	13,4930			

Média geral = 9,72 t/ha; coeficiente de variação = 13,0%.

TABELA 36. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA DE GALHOS DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	17,0959	8,5480	2,7166	0,14426
Tratamento	3	14,3254	4,7751	1,5175	0,30298
Resíduo	6	18,8797	3,1466		
Total	11	50,3010			

Média geral = 9,34 t/ha; coeficiente de variação = 19,0%.

TABELA 37. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA BIOMASSA TOTAL DE SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DO *E. grandis*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	47,2894	23,6447	2,4950	0,16243
Tratamento	3	26,8790	8,9597	0,9454	0,52291
Resíduo	6	56,8601	9,4767		
Total	11	131,0285			

Média geral = 21,28 t/ha; coeficiente de variação = 14,5%.

TABELA 38. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE N NA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	2,0941	1,0471	0,8581	0,56619
Tratamento	3	0,2486	0,0829	0,0679	0,97597
Horizonte orgânico	1	100,7490	100,7490	82,5696	0,00001
Material da serapilheira	2	856,1468	428,0734	350,8307	0,00001
Tratamento x Horizonte	3	2,5095	0,8365	0,6856	0,56873
Tratamento x Material	6	3,0689	0,5115	0,4192	0,86287
Horizonte x Material	2	8,2369	4,1184	3,3753	0,04167
Tratamento x Horiz. x Material	6	10,5922	1,7654	1,4468	0,21710
Resíduo	46	56,1279	1,2202		
Total	71	1039,7741			

Média geral = 6,58 g/kg; coeficiente de variação = 16,8%.

TABELA 39. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE P NA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,0083	0,0042	0,5325	0,59611
Tratamento	3	0,0067	0,0022	0,2864	0,83643
Horizonte orgânico	1	0,1922	0,1922	24,5856	0,00006
Material da serapilheira	2	0,9466	0,4733	60,5404	0,00001
Tratamento x Horizonte	3	0,0287	0,0096	1,2228	0,31182
Tratamento x Material	6	0,0300	0,0050	0,6391	0,70037
Horizonte x Material	2	0,1200	0,0600	7,6755	0,00167
Tratamento x Horiz. x Material	6	0,0225	0,0037	0,4793	0,82127
Resíduo	46	0,3596	0,0078		
Total	71	1,7145			

Média geral = 0,27 g/kg; coeficiente de variação = 32,8%.

TABELA 40. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE P EM g/kg NA CASCA DA SERAPILHEIRA NO HORIZONTE ORGÂNICO Lv E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0015	0,0015	0,1880	0,67038
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,0272	0,0272	3,4822	0,06511
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0417	0,0417	5,3299	0,02403
Resíduo	46	0,3596	0,0078		

Médias por tratamento em g/kg: trat.1 = 0,29; trat.2 = 0,22; trat.3 = 0,38; trat.4 = 0,18

TABELA 41. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE K DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,1347	0,0674	4,1117	0,02218
Tratamento	3	0,0124	0,0041	0,2516	0,86058
Horizonte orgânico	1	0,0253	0,0253	1,5447	0,21796
Material da serapilheira	2	0,5372	0,2686	16,3918	0,00003
Tratamento x Horizonte	3	0,0268	0,0089	0,5455	0,65774
Tratamento x Material	6	0,0244	0,0041	0,2478	0,95677
Horizonte x Material	2	0,1674	0,0837	5,1089	0,00994
Tratamento x Horiz. x Material	6	0,0497	0,0083	0,5057	0,80205
Resíduo	46	0,7538	0,0164		
Total	71	1,7318			

Média geral = 0,38 g/kg; coeficiente de variação = 34,0%.

TABELA 42. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE Ca NA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	2,0032	1,0016	0,6089	0,55311
Tratamento	3	9,0321	3,0107	1,8304	0,15362
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,6165	0,6165	0,3748	0,55034
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	7,4681	7,4681	4,5403	0,03625
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,9474	0,9474	0,5760	0,54187
Horizonte orgânico	1	73,4472	73,4472	44,6528	0,00001
Material da serapilheira	2	28,9955	14,4977	8,8140	0,00085
Tratamento x Horizonte	3	10,0907	3,3636	2,0449	0,11947
Tratamento x Material	6	4,4042	0,7340	0,4463	0,84452
Horizonte x Material	2	37,9233	18,9617	11,5279	0,00022
Tratamento x Horiz. x Material	6	7,4820	1,2470	0,7581	0,60801
Resíduo	46	75,6632	1,6448		
Total	71	249,0415			

Média geral = 6,69 g/kg; coeficiente de variação = 19,2%.

TABELA 43. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE Ca EM g/kg NOS GALHOS DA SERAPILHEIRA NO HORIZONTE ORGÂNICO Lv E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	5,0027	5,0027	3,0414	0,08420
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	11,6323	11,6323	7,0719	0,01042
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,1380	0,1380	0,0839	0,77041
Resíduo	46	75,6632	1,6448		

Médias por tratamento em g/kg: trat. 1 = 6,29; trat. 2 = 8,43; trat. 3 = 8,74; trat. 4 = 6,17

TABELA 44. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE Mg DA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,5098	0,2549014	10,3827	0,00037
Tratamento	3	0,3207	0,1069014	4,3543	0,00893
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0296	0,0296	1,2070	0,27721
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,0013	0,0013	0,0516	0,81597
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,2898	0,2898	11,8043	0,00161
Horizonte orgânico	1	0,0807	0,0806681	3,2858	0,07294
Material da serapilheira	2	5,3990	2,6995	109,9558	0,00001
Tratamento x Horizonte	3	0,0253	0,0084	0,3437	0,79629
Tratamento x Material	6	0,1911	0,0318	1,2971	0,27690
Horizonte x Material	2	0,5985	0,2992	12,1886	0,00016
Tratamento x Horiz. x Material	6	0,1505	0,0251	1,0218	0,42386
Resíduo	46	1,1293	0,0245		
Total	71	8,4049			

Média geral = 1,11 g/kg; coeficiente de variação = 14,1%.

TABELA 45. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEORES DE Mg EM g/kg NOS GALHOS DA SERAPILHEIRA NO HORIZONTE ORGÂNICO Lv E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0054	0,0054	0,2190	0,64688
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,0748	0,0748	3,0449	0,08402
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,1601	0,1601	6,5199	0,01344
Resíduo	46	1,1293	0,0245		

Médias por tratamento em g/kg: trat.1 = 0,81; trat.2 = 1,08; trat.3 = 0,76; trat.4 = 0,73.

TABELA 46. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTEÚDO DE K EM kg/ha NA CASCA PRESENTES NA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,0197	0,0099	0,3770	0,70405
Tratamento	3	0,2219	0,0740	2,8287	0,12891
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,00902	0,00902	0,3452	0,58252
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,00005	0,00005	0,0019	0,96559
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,21282	0,21282	8,1392	0,02846
Resíduo	6	0,1569	0,0261		
Total	11	0,3985			

Médias por tratamento em kg/ha : trat.1=0,54; trat.2= 0,42; trat.3 = 0,80; trat.4 = 0,60

Média geral = 0,59 kg/ha; coeficiente de variação = 27,4%.

TABELA 47. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CONTEÚDO DE Mg EM kg/ha NOS GALHOS PRESENTES NA SERAPILHEIRA AOS 86 MESES DE IDADE DAS ÁRVORES E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	2,4050	1,2025	1,3020	0,33972
Tratamento	3	6,3758	2,1253	2,3011	0,17698
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,3403	0,3403	0,3684	0,57049
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	6,0089	6,0089	6,5059	0,04243
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0267	0,0267	0,0289	0,86446
Resíduo	6	5,5417	0,9236		
Total	11	14,3225			

Médias por tratamento em kg/ha : trat.1=5,73; trat.2= 6,77; trat.3 = 6,63; trat.4 = 4,97;
Média geral = 6,02 kg/ha; coeficiente de variação = 15,9%.

TABELA 48. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA pH DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,0385	0,0192	0,8067	0,54057
Tratamento	3	0,3493	0,1164	4,8789	0,00719
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0345	0,0345	1,4468	0,23681
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,3147	0,3147	13,1837	0,00136
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0001	0,0001	0,0063	0,93525
Profundidade do solo	3	1,3876	0,4625	19,3778	0,00001
Tratamento x Profundidade	9	0,1201	0,0133	0,5592	0,81943
Resíduo	30	0,7161	0,0239		
Total	47	2,6117			

Média geral = 3,63; coeficiente de variação = 4,2%.

TABELA 49. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA pH DO SOLO NO TESTE F PARA CONTRASTES TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE DO SOLO DE 10 A 20 cm E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0272	0,0272	1,1406	0,29427
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,2312	0,2312	9,6860	0,00427
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0033	0,0033	0,1369	0,71479
Resíduo	30	0,7161	0,0239		

TABELA 50. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA pH DO SOLO NO TESTE F PARA CONTRASTES TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE DO SOLO DE 20 A 30 cm.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0078	0,0078	0,3269	0,57831
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,1168	0,1168	4,8935	0,03276
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0008	0,0008	0,0342	0,84861
Resíduo	30	0,7161	0,0239		

TABELA 51. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA K DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,0002	0,0001	1,2801	0,29247
Tratamento	3	0,0003	0,0001	1,6958	0,18792
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,00005	0,00005	0,8862	0,64354
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,00000	0,00000	0,0000	1,00000
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,00027	0,00027	4,2013	0,04663
Profundidade do solo	3	0,0037	0,0012	19,6389	0,00001
Tratamento x Profundidade	9	0,0004	0,00004	0,7039	0,70162
Resíduo	30	0,0019	0,00006		
Total	47	0,0065			

Média geral = 0,02 cmolc/dm³; coeficiente de variação = 36,4%.

TABELA 52. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA K DO SOLO NO TESTE F PARA CONTRASTES ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE DO SOLO DE 0 A 5 cm E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,00014	0,00014	2,1444	0,15010
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,00009	0,00009	1,4004	0,24453
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,00027	0,00027	4,2013	0,04663
Resíduo	30	0,00190	0,00006		

Médias por tratamento em cmolc/dm³: trat.1 = 0,03; trat.2 = 0,03; trat.3 = 0,05; trat.4 = 0,03

TABELA 53. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Ca DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,3613	0,1807	5,4550	0,00956
Tratamento	3	0,0085	0,0028	0,0860	0,96642
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0006	0,0006	0,0189	0,88669
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,0078	0,0078	0,2359	0,63589
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0001	0,0001	0,0031	0,95448
Profundidade do solo	3	0,1310	0,0437	1,3188	0,28604
Tratamento x Profundidade	9	0,0752	0,0084	0,2523	0,98198
Resíduo	30	0,9936	0,0331		
Total	47	1,5698			

Média geral = 0,39 cmolc/dm³; coeficiente de variação = 46,7%.

TABELA 54. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mg DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE

ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	9,2487	4,6244	11,3146	0,00040
Tratamento	3	2,6168	0,8723	2,1342	0,11566
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,1139	0,1139	0,27876	0,66914
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	1,9012	1,9012	4,6519	0,03698
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,6017	0,6017	1,4721	0,23272
Profundidade do solo	3	0,8073	0,2691	0,65841	0,58743
Tratamento x Profundidade	9	1,5867	0,1763	0,4314	0,90732
Resíduo	30	12,2612	0,4087		
Total	47	26,5208			

Média geral = 1,03 cmolc/dm³; coeficiente de variação = 61,8%.

TABELA 55. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Mg DO SOLO NO TESTE F PARA CONTRASTES ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE DO SOLO DE 0 A 5 cm E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,1600	0,1600	0,3915	0,54302
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	1,6200	1,6200	3,9637	0,05285
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,6666	0,6666	1,6312	0,20898
Resíduo	30	12,2612	0,4087		

Médias por tratamento em cmolc/dm³: trat.1 = 1,03; trat.2 = 1,27; trat.3 = 1,93; trat.4 = 0,70.

TABELA 56. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA Al DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	0,7217	0,3608333	3,6592	0,03683
Tratamento	3	0,3975	0,1325000	1,3437	0,27821
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0625	0,0625	0,6338	0,56212
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,3200	0,3200	3,2451	0,07830
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0150	0,0150	0,1521	0,70098
Profundidade do solo	3	2,8625	0,9542	9,6761	0,00026
Tratamento x Profundidade	9	0,5192	0,0577	0,5850	0,79943
Resíduo	30	2,9583	0,0986		
Total	47	7,4592			

Média geral = 1,18 cmolc/dm³; coeficiente de variação = 26,6%.

TABELA 57. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA H + AI DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	7,4725993	3,7362996	2,1345	0,13421
Tratamento	3	4,2079570	1,4026523	0,8013	0,50553
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0264	0,0264	0,0151	0,89869
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,3655	0,3655	0,2088	0,65531
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	3,8160	3,8160	2,1801	0,14680
Profundidade do solo	3	18,1971	6,0657	3,4653	0,02788
Tratamento x Profundidade	9	39,8417	4,4268	2,5290	0,02702
Resíduo	30	52,5126	1,7504		
Total	47	122,2330			

Média geral = 5,48 cmolc/dm³; coeficiente de variação = 24,1%.

TABELA 58. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AI DO SOLO NO TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE DE 20 A 30 cm E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,0069	0,0069	0,0704	0,78838
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	0,4355	0,4355	4,4169	0,04169
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	0,0067	0,0067	0,0676	0,79227
Resíduo	30	2,9583	0,0986		

Médias por tratamento em cmolc/dm³: trat.1 = 0,93; trat.2 = 0,87; trat.3 = 0,80; trat.4 = 1,30.

TABELA 59. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA H + AI DO SOLO NO TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS NA PROFUNDIDADE DE 20 A 30 cm E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	12,9600	12,9600	7,4039	0,01040
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	5,8482	5,8482	3,3410	0,07420
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	10,1921	10,1921	5,8226	0,02094
Resíduo	30	52,5126	1,7504		

Médias por tratamento em cmolc/dm³: trat.1 = 4,23; trat.2 = 8,50; trat.3 = 5,89; trat.4 = 5,49.

TABELA 60. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	19,3247	9,6623	0,5081	0,61204
Tratamento	3	63,3475	21,1158	1,1104	0,36082
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	0,5342	0,5342	0,0281	0,86229
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	5,4011	5,4011	0,2840	0,60412
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	57,4123	57,4123	3,0190	0,08903
Profundidade do solo	3	292,1495	97,3832	5,1209	0,00581
Tratamento x Profundidade	9	136,0708	15,1190	0,7950	0,62430
Resíduo	30	570,5076	19,0169		
Total	47	1081,4001			

Média geral=12,68 g/dm³; coeficiente de variação = 34,4%.

TABELA 61. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA P DO SOLO E TESTE F PARA CONTRASTE ENTRE TRATAMENTOS.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	2	10,6754	5,3377	0,1676	0,84722
Tratamento	3	63,8542	21,2847	0,6682	0,58148
Contraste trat. 1 vs trat. 2,3 e 4	1	9,5069	9,5069	0,2984	0,59520
Contraste trat. 2 e 3 vs trat. 4	1	36,8368	36,8368	1,1564	0,29089
Contraste trat. 3 vs trat. 2	1	17,5104	17,5104	0,5497	0,52931
Profundidade do solo	3	277,5242	92,5081	2,9040	0,05014
Tratamento x Profundidade	9	148,4808	16,4979	0,5179	0,85015
Resíduo	30	955,6646	31,8555		
Total	47	1456,1992			

Média geral=7,97 mg/dm³; coeficiente de variação = 70,8%.

TABELA 62. UMIDADE DO SOLO, COM BASE EM VOLUME (cm³/cm³), EM DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS DE SOLO, POR TRATAMENTO (T), EM TRÊS PROFUNDIDADES (P), NA IDADE DO CORTE DAS ÁRVORES (7ANOS). MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES.

T	P(cm)	3 kPa	6 kPa	10 kPa	33 kPa	100kPa	500kPa	1500kPa
1	0-10	0,297	0,212	0,182	0,157	0,135	0,124	0,118
2	0-10	0,333	0,262	0,217	0,203	0,189	0,172	0,166
3	0-10	0,352	0,285	0,234	0,210	0,191	0,176	0,166
4	0-10	0,312	0,222	0,189	0,144	0,131	0,122	0,118
1	10-20	0,294	0,195	0,164	0,144	0,127	0,115	0,111
2	10-20	0,288	0,209	0,168	0,150	0,136	0,120	0,116
3	10-20	0,308	0,213	0,162	0,140	0,132	0,125	0,122
4	10-20	0,290	0,201	0,173	0,136	0,127	0,117	0,112
1	20-30	0,313	0,185	0,155	0,122	0,111	0,103	0,099
2	20-30	0,310	0,203	0,146	0,123	0,106	0,099	0,095
3	20-30	0,321	0,230	0,181	0,140	0,127	0,115	0,116
4	20-30	0,304	0,194	0,164	0,109	0,101	0,095	0,092

TABELA 63. VOLUME DE ÁGUA, NA PROFUNDIDADE DE 0 A 10 CM, DE AMOSTRAS DE SOLO INDEFORMADAS COLETADAS AOS 86 MESES DE IDADE NAS PARCELAS DE *E. grandis* E CORRELAÇÃO COM O DAP MÉDIO DA PARCELA NESTA IDADE.

Tratamento	DAP(cm) médio da parcela	Água disponível no solo das parcelas em cm^3/cm^3 na profundidade de 0 a 10 cm *
1	11,6	0,0996
1	12,3	0,0820
1	12,0	0,0991
2	10,3	0,0871
2	12,9	0,1045
2	12,4	0,0958
3	15,0	0,1434
3	14,5	0,1177
3	13,5	0,0938
4	10,2	0,0899
4	12,1	0,1329
4	12,5	0,0894

* diferença de umidade entre as tensões de 6 kPa e 1500 kPa.